

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

- جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubakr Belkaïd - Tlemcen -
Faculté de Technologie



كلية التكنو

« Dans Leur Environnement »

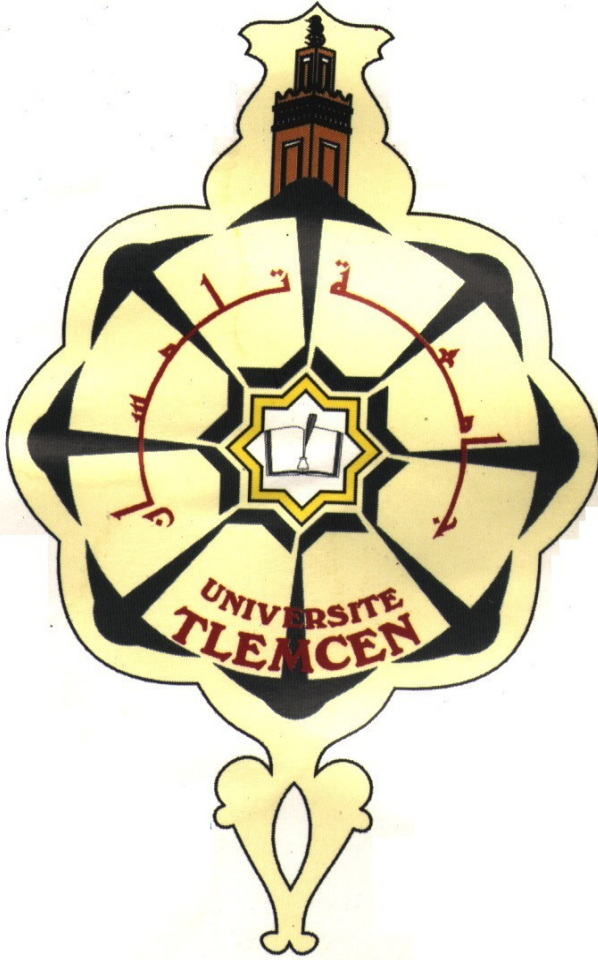
در en Génie civil
et environnement

ة :

**ANALYSE DES SEDIMENTS DE
LAGUE BAKHADDA**

المديونة
مؤلفة من :

Prés
Exar
Exar
Enca
Enca



مؤلفات
مؤلفات
مؤلفات
مؤلفات
مؤلفات (A)

جامعة تلمسان
جامعة تلمسان
ENSET Oran
جامعة تلمسان
جامعة تلمسان

2010 / 2011

مؤلفات

تمت صياغة هذا العمل تحت إشراف السيد **ABOUBEKR N** و السيدة **BOURABAH.M.A**، اللذان قد ساهما في توجيهي وتقديم النصح والارشاد لي، مما أجد في ذلك اهتماما كبيرا من قبلهما، ولذا أتقدم بجزيل الشكر لهما على حسن الاستقبال والتعاون، ولأشكر السيد **MEGNOUNIF.A**، دكتور في الهندسة المدنية، على قبوله لي في لجان التقييم لهذا العمل، ولأشكر السيد **MEGNOUNIF.A**، دكتور في الهندسة المدنية، على قبوله لي في لجان التقييم لهذا العمل، ولأشكر السيد **MEGNOUNIF.A**، دكتور في الهندسة المدنية، على قبوله لي في لجان التقييم لهذا العمل.

Je remercie Monsieur **MEGNOUNIF.A**. Doyen de la Faculté de Technologie d'avoir accepté de me faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire et de bien vouloir l'examiner.

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur **ALLAL.M.A.** Maître de Conférences à l'Université de Tlemcen et Monsieur **MEKERTA B.** Maître de Conférences à l'ENSET d'Oran d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

Ma reconnaissance va à toute ma famille qui m'a soutenu durant cette période ; ainsi que mes collègues du laboratoire LTPO TIARET et les personnels de service d'exploitation du barrage BAKHADDA sans oublier tous mes amis.

Enfin, il me serait impossible de terminer ces remerciements sans adresser une pensée chaleureuse à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.

Résumé

En géotechnique environnementale, la valorisation des matériaux de dragage et leur utilisation dans la réalisation de certains ouvrages de travaux publics est une voie de plus en plus prospectée par les chercheurs ces dernières années, et constitue par conséquent un axe de recherche en harmonie avec le concept de développement durable.

En Algérie, le phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages où plus de 32.10^6 m³ de sédiments se déposent chaque année au fond de ces retenues. Il a été alors plus judicieux de mener une réflexion pour une utilisation rationnelle de ces sédiments de dragage.

Cette étude s'inscrit dans la recherche d'une méthodologie de gestion de sédiments dragués dans la région de l'Ouest Algérien. L'objectif est de proposer des formulations économiquement compétitives et faciles à mettre en œuvre in situ qui permettent une valorisation de ces matériaux en géotechnique routière.

A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physiques, chimiques et mécaniques sur des échantillons de sédiments prélevés de la retenue du barrage de BAKHADDA (Tiaret).

Nous montrons dans cette étude l'influence d'ajout de matériau granulaire et de liants hydrauliques en tant que correcteur à la fois granulométrique et mécanique permettant d'améliorer ces paramètres d'état géotechniques, ces caractéristiques optimales de densification et de portance ainsi que leurs classes de résistances mécaniques.

Différentes formulations ont été alors analysées pour la valorisation en technique routière conformément aux recommandations des guides techniques GTR et GTS (LCPC-SETRA, 2000). Les résultats obtenus vérifient bien ces normes d'un matériau utilisé en domaine routier.

Mots clés : sédiments de dragage, valorisation, technique routière, traitement, portance, comportement mécanique.

Abstract

Geotechnical environmental recovery of dredged material and their use in achieving some engineering works is a path increasingly explored by researchers in recent years, and is therefore a research area in harmony with the concept of sustainable development.

In Algeria, the phenomenon of siltation affects all dams where more than $32 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ of sediment are deposited annually. It was then more appropriate to reflect for a rational use of dredged sediments.

This study is part of a research methodology for management of dredged sediments in the western region of Algeria. The goal is to provide formulations economically competitive and easy to implement in situ which allow recovery of these materials in geotechnical road.

To this end, we conducted a series of physical, chemical and mechanical tests on sediment samples taken from the reservoir of BAKHADDA dam (Tiaret).

We show in this study the influence of adding granular material and hydraulic binders as correcting both size and mechanics to improve the geotechnical parameters of state, the optimal characteristics of densification and bearing as well as their classes mechanical strength.

Different formulations were then analyzed for enhancement in road following the recommendations of technical guides GTR and GTS (LCPC-SETRA, 2000). The results check out these standards of a material used in road sector.

Keywords: dredged sediment, valorization, road engineering, processing, treatments, bearing, mechanical behavior.

في الجيوتقنية البيئية ، إعادة ترمين الرواسب المستخرجة من السدود واستخدامها في تحقيق انجاز بعض أعمال الأشغال العمومية هو مسار استكشاف متزايد من قبل الباحثين في السنوات الأخيرة ، وبالتالي فهو يشكل محور الأبحاث في مسابقة مفهوم التنمية المستدامة.

في الجزائر، ظاهرة ترسب التربة تؤثر على جميع السدود حيث يوجد أكثر من 32 مليون م³ من الرواسب سنويا على الجزء السفلي من هذه الحواجز. حيث كان من الأنسب إعادة ترمين الرواسب المنجرفة .

هذه الدراسة هي جزء من منهجية البحث لإدارة الرواسب المستخرجة من المنطقة الغربية في الجزائر. والهدف هو تقديم صيغ قادرة على المنافسة اقتصاديا وسهولة التنفيذ في المواقع والتي تسمح باسترداد هذه المواد في جيوتقنية الطريق .

تحقيقا لهذه الغاية ، أجرينا سلسلة من التجارب الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية على عينات من الرواسب المأخوذة من سد خزان بخدة BAKHADDA بولاية (تيارت).

نعرض في هذه الدراسة تأثير إضافة المواد الحبيبية (الرمل) والماسكات الهيدروليكية بصفقتها محسن لحجم الجسيمات والميكانيكية ولتحسين العوامل الجيوتقنية ، والخصائص المثلى من التكتيف وأصناف مقاومتها الميكانيكية .

عدة تركيبات مختلفة تم تحليلها لأجل ترمينها واستخدامها في الطرق بمطابقة توصيات الأدلة تقنية GTR (2000 ، SETRA ، LCPC ، GTS). النتائج المحققة يجب أن توافق هذه المعايير والمواد المستخدمة في قطاع الطرق.

الكلمات الرئيسية: الرواسب المستخرجة، ترمين، هندسة الطرق وتجهيزها، المعالجة، المقاومة، والسلوك الميكانيكية.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	7
------------------------	---

LISTE DES TABLEAUX.....	8
-------------------------	---

LISTE DES PHOTOS	9
------------------------	---

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS.....	9
---	---

Introduction Générale.....	11
----------------------------	----

Chapitre I.....	13
-----------------	----

Problématique de l'envasement des barrages.....	13
---	----

I-1 Introduction.....	13
-----------------------	----

I-2 les Sédiments de dragage.....	13
-----------------------------------	----

I-3 Causes et Origine de L'envasement	14
---	----

I-4 Définition de la vase	15
---------------------------------	----

I-5 Composition des vases	15
<hr/>	
I-6 Processus de décantation et de tassement des vases	16
<hr/>	
I-7 Les modèles d'estimation de l'envasement	18
<hr/>	
I-8 Les Moyens de lutte contre l'envasement	19
<hr/>	
I-9 Conclusion.....	21
<hr/>	
Chapitre II	24
<hr/>	
Aperçu Sur L'envasement des barrages au Maghreb Arabe.....	24
<hr/>	
II-1 Introduction	24
<hr/>	
II-2 L'envasement dans le Monde	24
<hr/>	
II-3 L'envasement dans le MAGHREB	24
<hr/>	
II-4 Conclusion	33
<hr/>	

Chapitre III	35
--------------------	----

Présentation du barrage de BAKHADDA.....	35
--	----

III-1 Introduction.....	35
-------------------------	----

III-2 Situation et caractéristiques du barrage.....	35
---	----

III-3 L'hydrologie du bassin versant	36
--	----

III-4 Le Corps Du Barrage Et les ouvrages Annexes.....	38
--	----

III-5 Conclusion	39
------------------------	----

Chapitre IV	41
-------------------	----

Méthodologie de valorisation des matériaux en technique routière.....	41
---	----

IV-1 Introduction.....	41
------------------------	----

IV-2 Définition de la Structure De Chaussée.....	41
--	----

IV-3 Différents types de structures des chaussées.....	41
<hr/>	
IV-4 Description Des Matériaux De Chaussée.....	42
<hr/>	
IV 5 Valorisation des Sédiments de dragage dans la structure de chaussée.....	45
<hr/>	
IV-6 Conclusion	49
<hr/>	
Chapitre V	51
<hr/>	
Application à la valorisation des sédiments de dragage du barrage BAKHADDA	51
<hr/>	
V-1 Introduction.....	51
<hr/>	
V-2 Identification physico-chimique du sédiment brut de BAKHADDA	51
<hr/>	
V-3 Conclusion des caractérisations des sédiments bruts des sites 01et 02.....	59
<hr/>	
V-4 Valorisation du Sédiment brut de site 01 en corps de chaussée.....	59
<hr/>	
V-5 Conclusion de chapitre	68
<hr/>	

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
A.N.B.T : Agence Nationale des Barrages et transferts
CNER : Centre national d'études et de recherches routières
C.C.N Québec 2004 : Comité de concertation Navigation Québec 2004
CBR: Californian Bearing Ratio
COT: Carbone organique total
CPA : Ciment Portland artificiel
GTR : Guide des terrassements routiers
GTS : Guide du traitement des sols
MO : Matières organiques
Cu : Coefficient d'uniformité de HAZEN
Cc : Coefficient de courbure
d10 : Diamètre de particules pour 10 % de passants cumulés
d30 : Diamètre de particule pour 30 % de passants cumulés
d60 : Diamètre de particule pour 60 % de passants cumulés
pd : Masse volumique sèche
ps : Masse volumique des grains solides
pw : Masse volumique de l'eau
Wn : Teneur en eau naturelle
wL : Limite de liquidité
wP : Limite de plasticité
wr : Limite de retrait
IR : Indice de retrait
VBS : Valeur au bleu du sol
Aact : l'activité argileuse.
Ic : l'indice de consistance
IP : Indice de plasticité
OPM : Optimum Proctor modifié
pd_{OPM} : Masse volumique apparente maximale de OPM
E : Module élastique
Etb : Module d'élasticité en compression diamétrale
IPI : Indice Portant Immédiat
Gv : Gonflement volumique
IC.B.R. : Indice CBR
Rc : Résistance à la compression simple
Rtb : Résistance en traction indirecte (brésilienne)
Rt : Résistance à la traction directe

Al_2O_3 : oxyde d'alumine

CaO : Chaux vive

Cl : Chlore

SiO_2 : Silice

MgO : Magnésie

Fe_2O_3 : Oxyde de fer

Na_2O : L'oxyde de sodium

Introduction Générale

L'envasement dans les barrages réservoirs est l'un des principaux problèmes que rencontrent de nombreux barrages dans le monde. Selon le rapport publié par le Comité International des Grands Barrages (CIGB), plus de 50.000 grands barrages existent dans le monde avec une capacité très importante de stockage, exploités à des fins diverses comme l'approvisionnement en eau, la production d'énergie hydroélectrique et le contrôle des inondations.

D'autre part, un taux moyen de 0,5 à 1 % de leur capacité de stockage est perdu chaque année en raison de la sédimentation. Afin de compenser cette réduction, entre 300 et 400 grands barrages doivent être construits chaque année. Donc les méthodes de traitement appropriées sont fortement suggérées de traiter ce problème tout en accordant une attention particulière au problème.

Ce travail permet d'étudier le comportement mécanique du sédiment de dragage du barrage Bakhadda et de sa valorisation. Cet ouvrage hydraulique est localisé dans les chaînes telliennes à forte érosion et s'envase à un rythme rapide, la quantité de sédiments dragués se trouvant actuellement au fond de la retenue du barrage Bakhadda est plus de 20 millions de m³ [Levés Bathymétriques Par Hydrodragage C.T.Systems rapport technique barrage Bakhadda Février 2005].

Ces quantités de sédiments évacuées par les opérations de dragage et déposées à coté de l'amont de l'ouvrage peuvent conduire à long terme à la pollution du milieu rural. Pour cela, la récupération et la réutilisation de ces sédiments devraient permettre à moyen terme sa valorisation dans le domaine du Génie Civil : Technique routière, fabrication de brique et coulis de comblement de réseaux.

L'objectif de cette étude est le traitement des sédiments de dragage en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières

Cette étude se divise donc en cinq chapitres.

Le premier chapitre présente la problématique de l'envasement des barrages et la difficulté posée par les sédiments rejetée lors des opérations de dragage.

Le deuxième chapitre est une présentation d'un aperçu sur l'envasement des barrages dans les pays arides et semi arides tels que l'Algérie, Tunisie et le Maroc

Le chapitre III s'intéresse à la zone d'étude, on y trouve les caractéristiques hydrologiques, climatologiques et géologiques du bassin versant du barrage Bakhadda.

Le quatrième chapitre est une description de la méthodologie d'utilisation des sédiments comme des matériaux routiers. La démarche de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et de formulation simples.

Enfin, le cinquième chapitre est consacré d'une part à la caractérisation géotechnique du sédiment dragué de Bakhadda avant traitement et d'autre part à la discussion des résultats sur une campagne d'essais mécaniques effectuée sur les formulations utilisant ces sédiments traités. L'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques telles que ces paramètres d'état géotechniques, ces caractéristiques optimales de densification et de portance ainsi que leurs classes de résistances mécaniques sont étudiés.

Et finalement notre travail sera terminé par une conclusion générale contenant l'essentiel des résultats trouvés ainsi que les perspectives pour les futures recherches.

Chapitre I

Problématique de L'Envasement des Barrages



Barrages

Le phénomène d'envasement des barrages est l'un des problèmes les plus graves que posent les techniques modernes de lutte

en raison des forts taux d'érosion des sols entraînés directement par des cours d'eau. Les conséquences de cette forte

érosion sont les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord. Les taux et les concentrations de sédiments (Heusch (1982) donnent des chiffres compris entre 16 et 28 g/l [cité

par Mahi Tabet -Aoul 2000].

Ce phénomène entraîne l'envasement rapide de nombreuses retenues d'eau. Les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales voir Photos (1.1) et (1.2).

Photo (1.1): Envasement du barrage de BAKHADDA TIARET (2008)

Photo (1.2): Importance de l'envasement des barrages Algériens (de Mardja Sidi Abed Ghilizane ANB, 2001)

A cet effet l'envasement pose d'énormes problèmes à savoir :

- ✓ **La réduction de la capacité** : chaque année le fond vaseux évolue et se consolide avec occupation d'un volume considérable de la retenue.
- ✓ **La sécurité de l'ouvrage** : l'indépendamment du problème de la diminution de la capacité du réservoir. L'envasement pose un problème sur la stabilité de l'ouvrage, on sait que pour une variation linéaire de la hauteur de la vase, la poussée progresse au carré de la hauteur. [OUMRANI.N 2009]
- ✓ **Obturation des organes de vidange** : un autre danger présenté par l'envasement est celui du non fonctionnement des organes de vidange de fond.
- ✓ **Envasement des canaux d'irrigation** : l'irrigation se fait généralement par de l'eau chargée en sédiments, c'est ainsi que ces particules fines vont se déposer dans les canaux réduisant leurs sections mouillées ceci pose le problème de comblement du réseau des canaux d'irrigation se trouvant à l'aval du barrage.
- ✓ **Dégradation de la qualité de l'eau** : les sédiments véhiculent des produits chimiques (nitrates, sulfates) provenant en particulier des apports en éléments fertilisants pour les cultures, et se déposant dans les réservoirs entraînant ainsi une dégradation de la qualité de l'eau. [REMINI et al 1997]



titué par la réunion de ant, séparément, subi un lictionnaire de géologie SCORDIA 2008]

qui véhiculés par l'eau, n du bassin versant, des es rejets de toute nature. agit de limons, de sables, en suspension dans l'eau

soit par charriage sur le fond de la rivière. Quand le courant d'eau ralentit suite à un élargissement du cours d'eau ou quand la charge solide excède occasionnellement ce que la capacité de transport permet d'évacuer, les éléments décantent et sédimentent, provoquant l'envasement du cours d'eau. Les sédiments peuvent être d'origines naturelles ou anthropiques.

1. Les particules d'origines naturelles peuvent être endogène (constituées principalement de matière organiques provenant des organismes aquatiques : plantes aquatiques, cadavres de microphytes et d'animaux) ou exogène (particules minérales provenant de l'érosion du bassin versant ou de l'érosion éolienne des sols ces particules exogènes peuvent être minérales ou organiques). Celles ci sont issues du ruissellement des fleuves, des effluents ou de l'atmosphère (Figure 1.1).

2. Les particules d'origines anthropiques peuvent être minérales ou organiques (apports de matière en suspension, de matières organiques, de nutriments ou de micropolluants en raison des rejets agricoles, industriels et domestiques) [SCHNEIDER 2001]. [BERTREAU et al, 1993]. Le lieu où se déposent les particules et leur taille dépendent principalement de la force du courant et de l'environnement géologique. [Cité par P-Y.SCORDIA 2008, F.AGOSTINI 2006]

I-2-2 Composition structurale des sédiments

La composition des sédiments est variée. Elle dépend de la constitution des éléments de nature minérale, de l'eau et des matières organiques ainsi que leurs influences sur les propriétés géotechniques du sédiment.

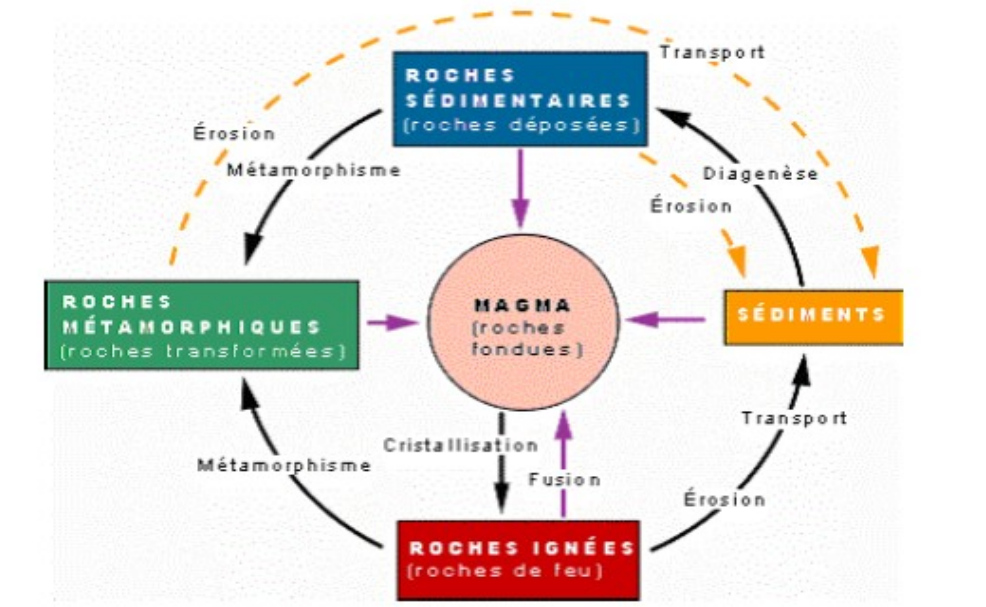
La composition minérale des sédiments diffère selon leur provenance. Les blocs, les cailloux, les graviers et les sables sont des sédiments terrigènes c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols, leur nature chimique dépend principalement des terrains érodés. Ils sont classés en fonction de leurs tailles, on distingue ainsi : les argiles et les limons. (Tableau (1.1)). [Tran N Thanh 2009]

Figure (1.1): Le Transport Des Sédiments [F.AGOSTINI 2006]

La fraction fine, relative aux particules inférieures à 80 µm est la fraction caractéristique de toute vase. Cette fraction engendre généralement des comportements complexes provoqués par les interactions entre les particules minérales, les interactions de ces particules avec l'eau contenue dans le milieu, les ions présents dans le milieu, et aussi les éléments organiques.

La taille des cations va aussi jouer son rôle, car plus ils seront de grosse taille, plus ils auront de difficultés à s'insérer entre les feuillettes, et donc à jouer un rôle dans le comportement des matériaux fins. [Dubois 2006]

I-2-3 Les Processus de Transport et de



sédimentation

La désagrégation et l'altération des matériaux rocheux fournissent une matière meuble désorganisée et peu résistante, qui peut être entraînée par la gravité et les agents d'érosion. Les principaux agents d'érosion sont : l'eau, la glace et le vent. En particulier, les eaux courantes vont transporter la matière meuble jusqu'à une nouvelle situation d'équilibre où une sédimentation va s'effectuer Figure (1.3).

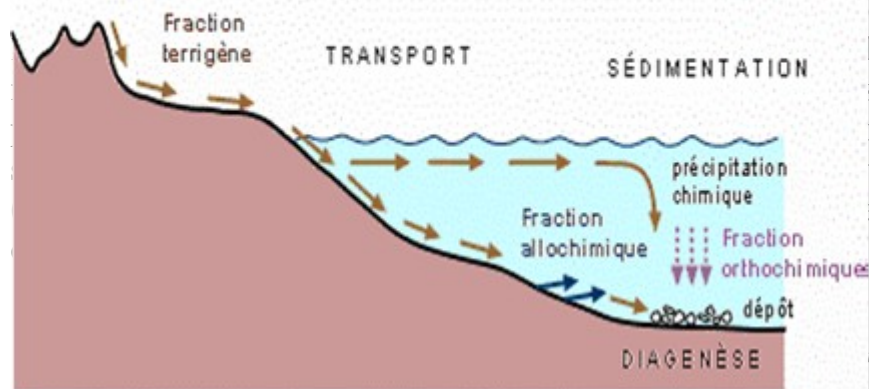
Tableau (1.1): Classification granulométrique [Costet et Sanglera, 1981]

Dénomination	Diamètre (mm)
Argile	$d < 0,002$
Limon	$0,002 < d < 0,063$
Sable	$0,063 < d < 2$
Gravier	$2 < d < 20$
Cailloux	$20 < d$

Les sédiments ainsi formés seront d'abord des alluvions, c'est-à-dire le dépôt est parfois situé très loin de la partie d'origine de ses éléments. Les alluvions sont susceptibles de se transformer ensuite, par cimentation naturelle, en roches sédimentaires détritiques indurées. L'histoire de la terre étant longue et complexe, ce processus de cycle (altération-transport-sédimentation) peut se reproduire plusieurs fois au cours des temps géologiques (Figure 1.2).

Le faciès des sédiments sera lié à ses conditions de dépôt, en milieu marin, en milieu lagunaire, en milieu lacustre. Les principaux processus de formation et d'évolution des matériaux sédimentaires.

ALTÉRATION DES MATÉRIAUX & ÉROSION



(Philippe Joye 2005)

est régulière et homogène. homogène sur le fond des s est lié directement aux ont des définitions diverses, qui combine l'arrachement es roches), le transport et le

(Gignès 2001)

L'origine de l'envasement se trouve dans le dépôt de particules solides, minérales et organiques sur le lit du cours d'eau. Elles sont transportées, par charriage, en suspension ou par ruissellement, pour se déposer dès que le débit du cours d'eau faible.

L'érosion, le transport de matériaux et la sédimentation constituent les trois termes de l'évolution géodynamique de la croûte terrestre conduisant à une pénéplanisation des reliefs montagneux sur l'ensemble du globe. Les agents de l'érosion qui sont principalement la pluie, le ruissellement et le vent, ainsi que des facteurs qui vont conditionner les quantités de particules arrachées: caractéristiques des pluies, des sols, de la végétation, de la topographie et enfin les activités humaines.

La définition de l'érosion suivant la trilogie «creusement, transport et accumulation des matériaux» conduit à imaginer un système fluvial idéal comprenant 3 zones [OLIVRY 1991]:

1. La zone 1 : correspond à la zone de production des matériaux (amont).
2. La zone 2: est celle des transferts des matériaux arrachés en zone 1 (cours d'eau).
3. La zone 3 : couvre les sites des dépôts de ces matériaux (retenues et estuaires).

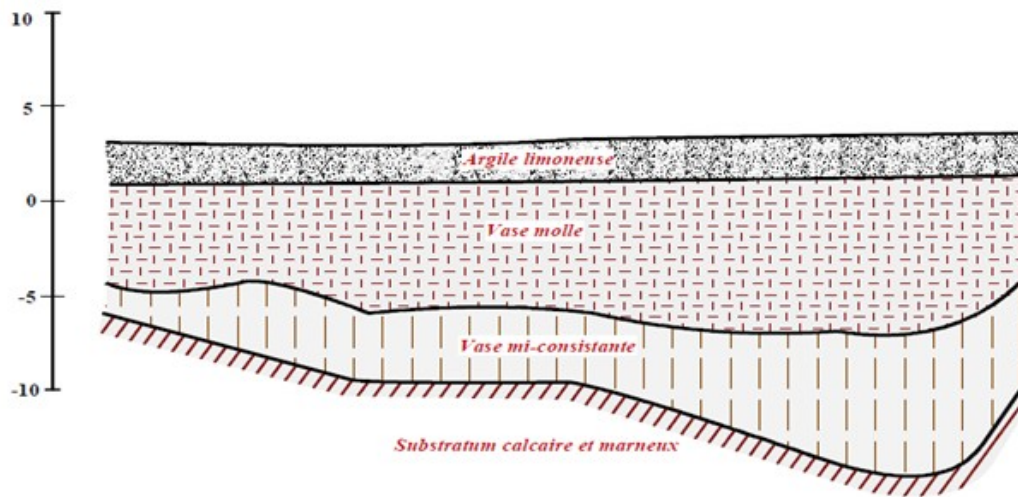
Il ressort dans les processus de l'érosion que l'eau en est le principal agent moteur. Elle est la cause première de l'altération des roches qui donnent des particules, du détachement et de l'arrachement des agrégats. L'énergie cinétique développée par le ruissellement permet l'enlèvement des agrégats détachés, le creusement du sol et le transport des matériaux qui sont déposés où accumulés progressivement avec la dissipation de cette énergie. [A. SEMCHA 2006]

I-4 Définition de la vase

I-4-1 Qu'est-ce qu'une vase ?

Le nom de vase (mot emprunté au Néerlandais) est la désignation d'une large famille de sédiments fins, argileux, plus ou moins organiques, pouvant atteindre des teneurs en eau importantes. Elles contiennent une phase minérale dont la granulométrie s'étend des sables, aux argiles et aux colloïdes, une phase organique et une phase liquide. La vase peut se présenter aussi bien à l'état de suspension (crème de vase) que de sol cohérent (sédiment cohésif) présentant alors un caractère plastique, compressible et thixotropique. Elle contient souvent l'habitat d'une faune riche et diversifiée (vers, mollusques, bactéries). [Agence de l'eau de France 2002], [Chapitre 1/Formation des sols GGC 112 C].

Les vases sont des sols contenant plus de 90% de particules inférieures à 0,2mm, dont la matière organique M.O est comprise entre 2 et 10%. Elles sont composées de sable, limon, argile et de colloïdes organiques. Elles sont en particulier très abondantes dans les estuaires. Elles sont fréquemment thixotropes. La Figure (1.4) donne un



portante de la
par Cours Cnam
étendue de
ntité notable
ment seules.
uteurs et les
000)

Dénomination	Caractéristiques
Sable	Plus de 80 % d'éléments supérieurs à 50 µm
Sable vaseux	De 20 à 80 % d'éléments supérieurs à 50µm
Vase	Plus de 80 % d'éléments inférieurs à 50 µm

I-5 Composition des vases

I-5-1 Structure physico-chimique des vases

Les sédiments se composent d'une fraction solide et d'une fraction liquide (eau) qui est intimement liées les unes aux autres. Les proportions respectives de chacune de ces fractions sont variables d'un milieu à un autre mais demeurent dans une fourchette, qui par expérience, peut être estimée si l'on considère des matériaux de type vases. [Agence de l'eau de France 2002].

IL y a quatre éléments principaux constitués Les vases :

1. La matrice minérale (quartz, feldspaths ou carbonates).
2. La fraction argileuse (kaolinite, illite ou smectite).
3. la fraction organique (débris végétaux, micro-organismes, acide fulvique et humiques).
4. Une certaine quantité d'eau, présente sous différentes formes.

La distribution granulométrique d'un sédiment constitue son empreinte physique, elle caractérise la taille des particules, constituant la phase solide du matériau. Pour l'obtenir, il est procédé à un tamisage mécanique. En dessous d'une taille de 20 µm, il est nécessaire de recourir à des mesures au laser, qui utilisent le principe de la diffraction de la lumière cohérente sur un écoulement d'une suspension très diluée de fines. Il est communément considéré que les «Vases» correspondent à la fraction inférieure à 63 µm.

Le schéma ci-dessous retrace les grands ensembles de la composition des sédiments portuaires vis-à-vis notamment de leur siccité ou de leur granulométrie. Figure (1.5). [N.PROULHAC, KER LANN 2006]

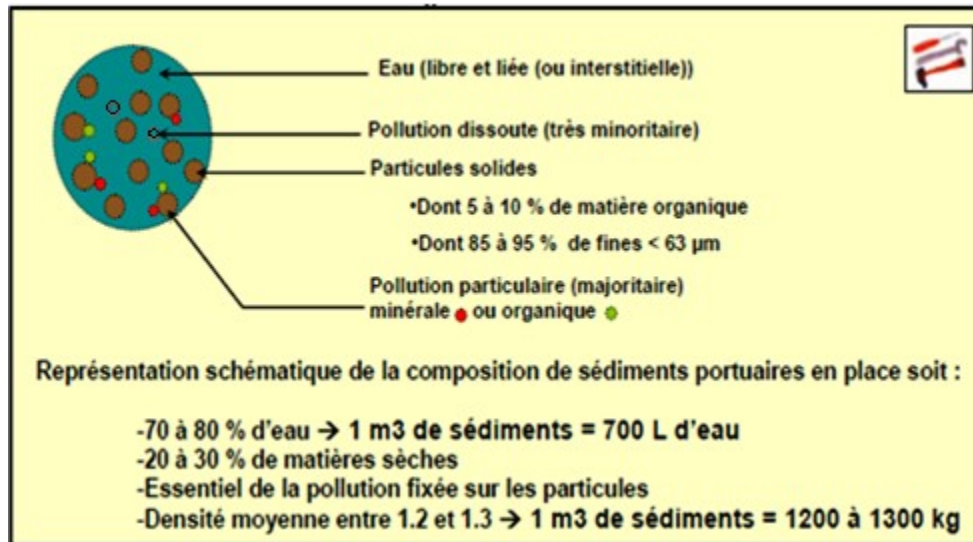


Figure (1.5): Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [N.PROULHAC, KER LANN 2006]

I-5-2 Rhéologie des vases

L'étude rhéologique des vases permet de déterminer des paramètres importants pour préciser leur comportement sédimentaire sous une action hydrodynamique. L'un des paramètres définissant le mieux de caractère liquide, plastique ou solide, d'une vase, est la rigidité initiale. [SIDI ADDA M 2005]

Les vases à l'état liquide se comportent en écoulement laminaire comme des fluides dont les paramètres sont indépendants du temps de cisaillement. On peut utiliser les modèles rhéologiques à un, à deux ou à trois paramètres.

La loi d'écoulement s'écrit $\tau = F(G)$

τ : est la contrainte de cisaillement

G: la vitesse de déformation.

Les vases et d'autres mixtures homogènes sol/eau (argile-eau, silts-eau) sont composées d'eau et de grains de sol dont les dimensions moyennes sont comprises entre environ 1 et 80 μm . Elles se comportent comme un ensemble si la concentration est élevée, et ayant dans ce cas des propriétés des corps viscoplastiques.

Elles peuvent être transportées en régime laminaire, transitoire et turbulent. Par contre les mixtures hétérogènes contenant des particules grosses dont les dimensions moyennes sont supérieures à environ 80 μm . sable/eau, galet/eau, se comportent comme des systèmes biphasique et ne peuvent en général être transportées qu'en régime turbulent. Le cisaillement rhéologique ne dépendant pas du temps, leur comportement est influencé surtout par la concentration moyenne (C_v).

C_v : la concentration moyenne

G : vitesse de déformation

τ : est la contrainte de cisaillement.

I-6 Processus de décantation et de tassement des vases

I-6-1 Pourquoi une retenue s'envase-t-elle ? [MARTIN, ANGULO 2000]

Une retenue de barrage est une zone d'eau calme où les courants sont atténués c'est-à-dire la présence de la retenue entraîne des hauteurs d'eau temporaires pour les rivières qui s'y jettent et qui deviennent propices au dépôt de sédiments dans des zones d'eau relativement calme.

De plus, une retenue joue le rôle d'entonnoir vis-à-vis des masses d'eaux provenant des bassins versants, auquel s'ajoute un effet de stagnation des eaux dans un espace semi clos.

Elle est donc un territoire privilégié pour le dépôt des particules fines, et joue à l'évidence le rôle de piéger la vase. Les processus physico-chimiques de floculation, agrégation et de décantation participent aussi à l'accumulation des sédiments sur le fond. La caractérisation physico-chimique des sédiments est donc primordiale pour la compréhension des phénomènes de sédimentation et de transport des sédiments c'est-à-dire les propriétés physique-chimiques du cours d'eau ont également une influence sur la sédimentation.

D'après les théories de sédimentation de [KYNCH 1952] et de consolidation de [GIBSON 1967], le tassement des vases peut se subdiviser en deux phases : la première phase, c'est la sédimentation en l'absence des contraintes effectives σ' et la deuxième c'est la consolidation qui commence quand ces contraintes σ' apparaissent.

D'après [MIGNIOT 1989] qui a étudié en laboratoire simultanément les processus de sédimentation et de tassement de plus de 30 vases d'origines diverses. Le suivi de l'évolution de la concentration moyenne d'un culot de tassement en fonction du temps lui permet de distinguer d'une façon générale plusieurs phases. Figure (1.6)

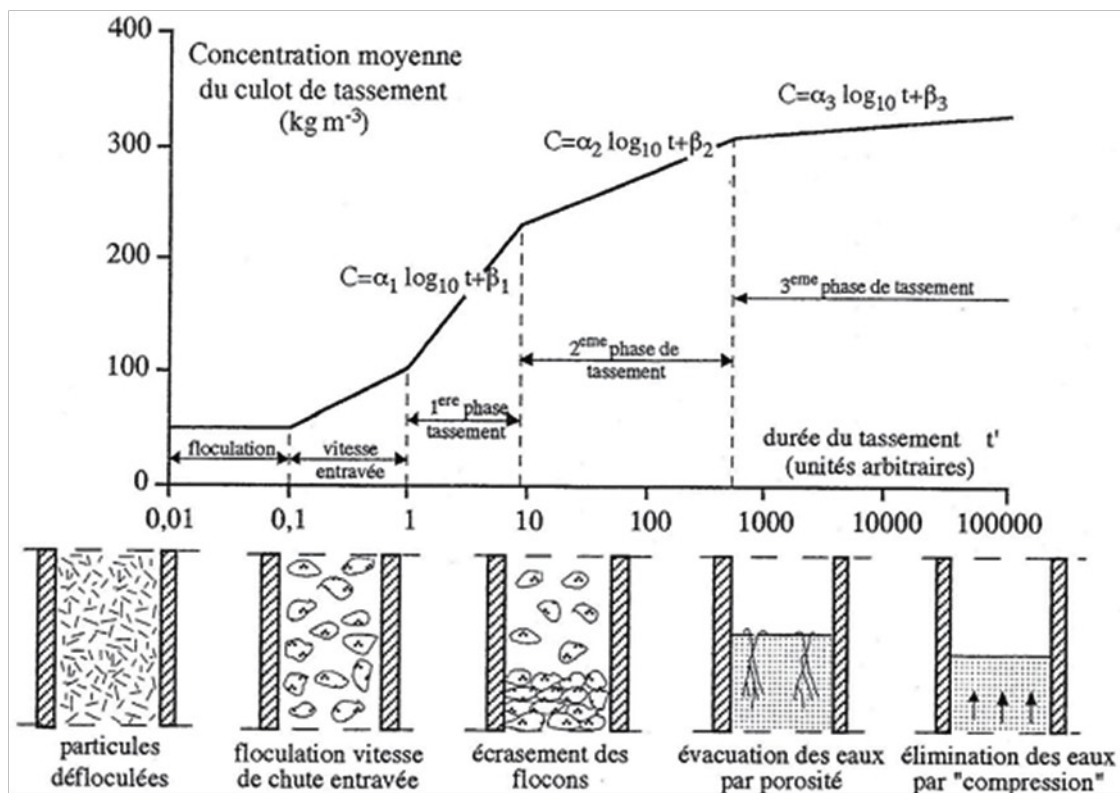


Figure (1.6): Les différentes phases du tassement (d'après Migniot 1989).. [Cité par A. SEMCHA 2006]

La courbe donnant la concentration moyenne du culot de tassement en fonction du logarithme du temps permet de distinguer plusieurs phases successives :

1. Le temps de floculation, de quelques minutes en moyenne: c'est-à-dire au début du processus, les particules élémentaires constituant la vase vont s'agglomérer pour former des agrégats dont la vitesse de chute est nettement plus importante que celle des particules à l'état individuel, c'est la floculation qui dure quelques minutes en moyenne.
2. La chute des flocons à vitesse entravée : Ensuite, on observe successivement la chute des flocons à vitesse entravée.
3. Phase01 : La première phase de tassement avec l'élimination d'une partie d'eau interstitielle libre (écrasements des flocons).
4. Phase02 : La deuxième phase de tassement, plus lente, correspond à l'évacuation de l'eau par les porosités.

5. Phase 03 : la troisième phase de tassement très lente, se traduit par un arrangement de la structure du dépôt et une perte d'eau des couches adsorbées.

Si ces différentes phases du phénomène de tassement sont toujours observées, on doit aussi signaler que chaque matériau a sa propre courbe de tassement qui dépend également des conditions initiales.

En état de consolidation, la vase aura des caractéristiques différentes selon ses propriétés et le milieu dans lequel s'effectue le tassement. Ce sont les paramètres suivants qui influent ces propriétés :

1. Les dimensions des particules : d'après Mignot, dans la formule du tassement en fonction du temps : $C = \alpha \log t + \beta$

C : Concentration de la suspension (kg/m^3)

α : Le coefficient dépend du diamètre des grains: c'est une fonction décroissante avec le diamètre «d» des particules pour toutes les phases du tassement.

- Phase de décantation des flocons : $\alpha = 0,01 + 0,05 d$
- Phase d'élimination des eaux interstitielles : $\alpha = 0,01 + 0,015 d$
- Phase d'élimination des eaux fixées aux micelles : $\alpha = 0,01 + 0,001 d$

2. Le milieu aqueux : les éléments chimiques dissous dans l'eau, ont une influence variable sur le tassement des particules en suspension.

β : Le coefficient qui dépend de l'état du milieu aqueux (salinité)

3. Les conditions initiales de sédimentation : pour apprécier l'influence des conditions initiales, les deux paramètres surveillés sont :

✓ la vitesse de tassement : Des mesures des vitesses de chute en eau calme en fonction de la concentration [MIGNOT, THORN, SANCHEZ] ont montré que pour des concentrations faibles la vitesse de chute augmente régulièrement avec la concentration, mais à partir d'une certaine concentration (de l'ordre de 5 à 10 kg m^{-3} , selon les sédiments qui ont été étudiées), la vitesse de chute commence à diminuer quand la concentration augmente.

✓ Le tassement final : Les paramètres influents sont la hauteur et la concentration en particules à l'état initial. Plus ces deux paramètres sont élevés plus le tassement final est important, mais plus la vitesse est faible, le mouvement ascendant de l'eau drainée permettant la consolidation, est gêné.

Les matières organiques : leur présence est limitative du tassement, par la formation de gaz lors de leur décomposition qui perturbent la concentration des dépôts. [MIGNOT 1989].

$$C = C_o h_o / \rho_s h_t$$

C_o : Concentration initial (kg/m^3),

h_o : hauteur initiale,

ρ_s : Masse volumiques des sédiments.

h_t : hauteur du culot à l'instant t.

4. La présence de sable : elle favorise de façon générale le tassement. Le drainage de l'eau se fait plus facilement lorsque des grains sont dispersés dans les sédiments. (C'est-à-dire les possibilités d'évacuation de l'eau interstitielle contenue entre les particules solides). La perméabilité est augmentée par leur présence.

I-6-2 Distribution des sédiments dans la retenue du barrage

La distribution des sédiments sur un bassin versant et de transport spécifique dans les fleuves regroupent deux processus différents. Ces deux notions permettent de distinguer d'une part les processus de détachement et de transport de matériaux du sol avant leur entrée dans le système "rivière" et d'autre part leur transport dans la rivière elle-même. Les taux de particules transportées vont à leur tour être régis par de nombreux facteurs dont la vitesse de l'eau, les caractéristiques du lit, la granulométrie des particules.

Les particules ainsi transportées par le cours d'eau ne reflètent qu'en partie les phénomènes d'érosion sur les versants puisqu'une partie des sédiments arrachés au bassin pourra se déposer (éventuellement temporairement) entre les sources d'érosion et l'exutoire du bassin de drainage. D'autre part, l'érosion des berges pourra contribuer à la charge en suspension mesurée dans le cours d'eau tandis que la présence de lacs, réservoirs entraînent une sédimentation des particules mais la question qui se pose, c'est de quelle manière ces particules solides se sont réparties et distribuées dans l'ensemble de la retenue? [CHANSON, JAMES 1998].

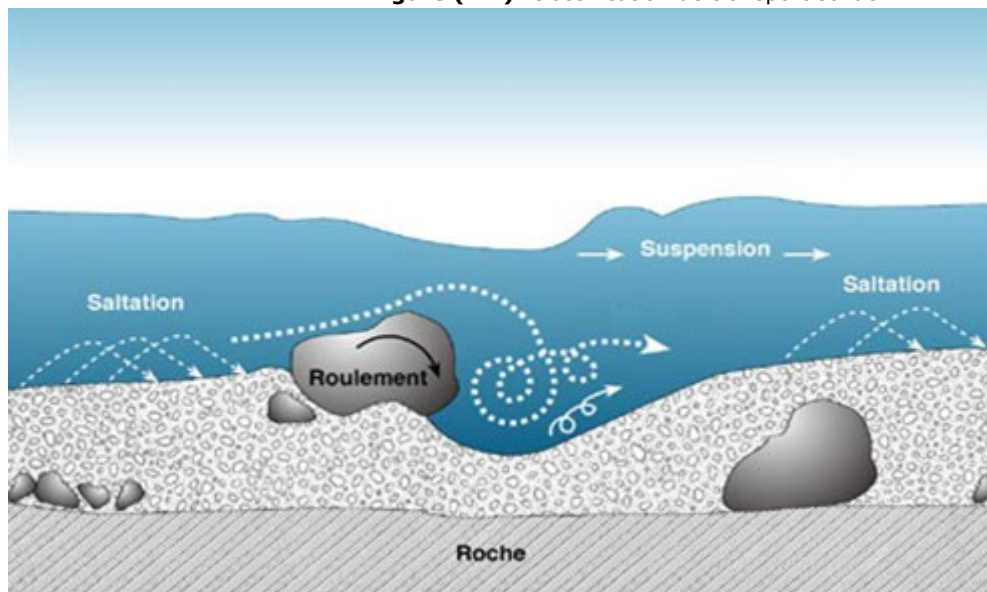
On sait que ce phénomène complexe dépend de certains paramètres tel que:

- la forme géométrique de la retenue : petite, grande, «canal ». «lac »
- la profondeur de la retenue.
- L'apport solide de la retenue.
- La pente du fond de la retenue.

A l'état naturel les oueds transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, Soit par charriage (bed load): ils concernent les matières minérales en phase solides plus particulièrement les plus gros éléments. Ces particules roulent sur le fond ou se déplacent par saltation ou glissement. [GUEMOU B 2009]

Soit par suspension (suspended): Le transport en suspension est en général constitué de matériaux fins, argiles et colloïdes et quelquefois de silts, de se déplacer sans toucher le fond du lit. Les figures (1.7) et (1.8)

Figure (1.7): Classification de transport solide.



té qui s'écoule sur
barrage. D'après
dans une retenue

enue,
s d'eau principal
aire : Au dessous
Dans ce trajet, les
petites, de l'amont

type de retenues
(morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide). La morphologie de chaque retenue est déterminée par son état antérieur. Par ailleurs, la forme de la retenue, la circulation de l'eau, et les apports solides ont une grande influence sur la nature et la vitesse de l'alluvionnement de la

retenue. La nature des matériaux déposés (la taille, forme, concentration, vitesse de chutes et densité des particules jouent un rôle important), la présence ou l'absence de stratification, et la cohésion du dépôt solide dépendent surtout des mécanismes de sédimentation et des formes de l'écoulement qui conduira à la décantation.

Le diagramme de Hjulstrom résume les conditions de transport, de dépôt et de mise en suspension des particules en fonction de leur taille et la vitesse du courant .pour qu'une particule sédimente, la vitesse du courant doit descendre sous un seuil critique et plus la particule est petite, plus la vitesse doit être basse. Figure (1.10).

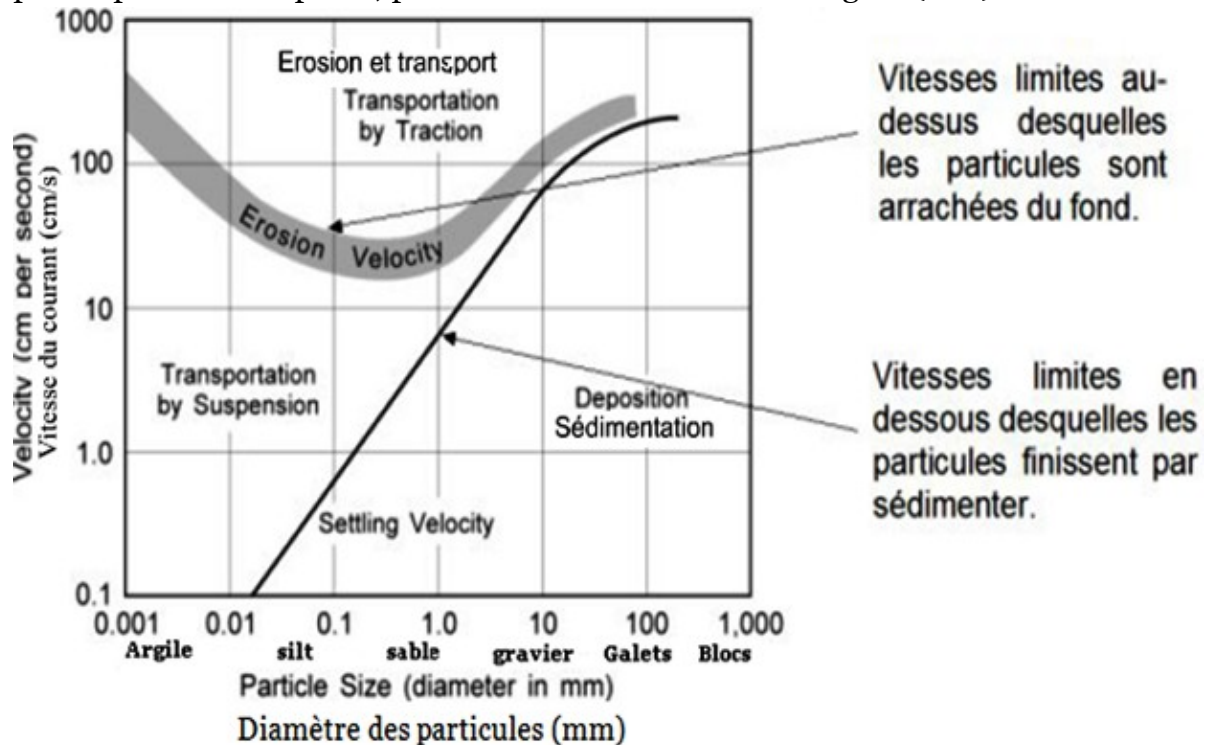


Figure (1.10): Diagramme érosion-transport-sédimentation d'après HJULSTROM (1935) cite par (Philippe .J 2005)

I-7 Les modèles d'estimation de l'envasement

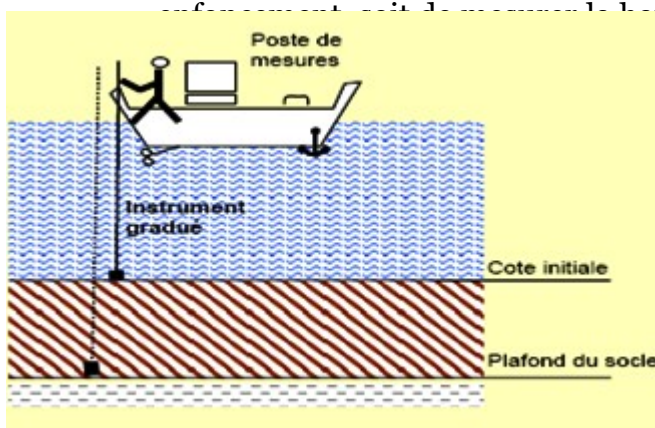
I-7-1 Comment évaluer le volume de l'envasement? [NETO 2007]

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venantes se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesure

I-7-2 Bathymétrie par nivellement [PROUCHAL, KER LANN 2006]

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il ya plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrie par nivellement, on prend quelques exemples :

- a. La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une embarcation si les conditions le permettent. Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par



soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux, une fois que l'on a apprécié le haut du substrat. Les mesures doivent être prises à des endroits qui pour être représentatifs, doivent être pris. La définition du volume extrait ou à déposer entre deux profils à partir du produit de la surface par la hauteur (Figure1.11) .



on de la bathymétrie par nivellement (N.PROULHAC, KER LANN 2006)

La méthode de nivellement est à l'aide d'une mire sur une berge, une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond (photo 1.3). Le relèvement s'effectue point par point selon un profil longitudinal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément proportionnel au largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par des profils transversaux. Il est nécessaire de prendre en compte l'écoulement d'eau d'avoir un positionnement précis des profils pour tenir compte de la variabilité du terrain. Le nivellement n'est généralement pas

précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.

Photo (1.3): Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).

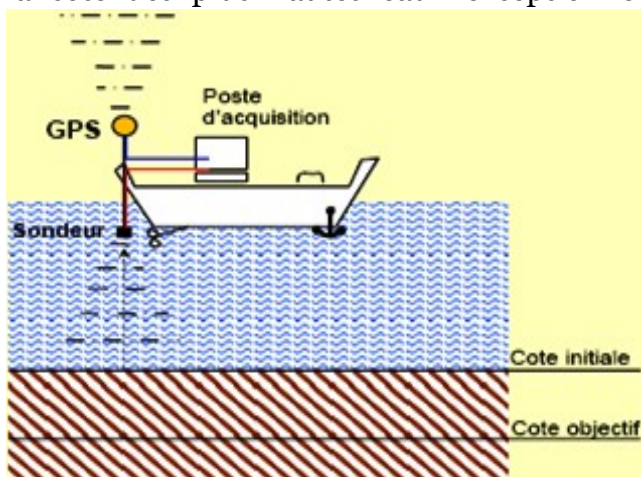
I-7-3 Bathymétries par sondeurs: «Échosondeur bathymétrique»

Le dernier appareil à mesurer la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Cette sonde de l'écho, le type moderne a été inventé pour la première fois dans les années de la Première Guerre mondiale sur les sites physiques français Angeevin. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés.

Bathymétrie par sondeurs (Figure 1.12) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre. (Un point de sonde = couple (distance, angle) Pratiquement mesure (t, θ) et exploitation (y, z). Deux approches pour estimer (t, θ): Mesure de l'instant d'arrivée à angle fixé, mesure de l'angle en fonction du temps d'arrivée.

A l'aide des nouvelles technologies de sondeurs, cette technique peut-être utilisable dans une hauteur d'eau restreinte. Cette technique s'applique à partir de sondeurs mono ou multi-faisceau. [XAVIER LURTON, JEAN MARIE AUGUSTIN]

Dans notre barrage, L'Agence Nationale des Barrages (ANB) a confié au groupement d'Entreprises HYDRODRAGAGE-C.T.SYSTEMS, un marché. L'objet du marché est l'exécution des levés bathymétriques et topographiques de dix-neuf (19) barrages en exploitation «Juillet 2004». Les travaux bathymétriques et topographiques effectués sur le site du barrage BAKHADDA, Par le système géodésique entre le 05 et le 25 Février 2005. Cette opération doit permettre d'actualiser la capacité de stockage des retenues et la surveillance de leurs envasements ainsi que la délimitation de la retenue à la cote des plus hautes eaux exceptionnelles (PHE). [Rapport Hydrodragage, C T



la bathymétrie par échosondeur

bathymétriques par échosondeurs:

matériau semi rigide.

ence.

quence de 200khz.

un récepteur GPS RTK 6502.

✍ un PC portable avec le logiciel DTM 2000.

✍ une barre d'étalonnage.

Au début du travail, l'hydrographe étalonne l'échosondeur par la barre d'étalonnage à différentes profondeurs. Il valide ainsi la profondeur du transducteur et la vitesse de propagation des signaux ultrasonores dans l'eau du barrage. La distance entre profils est choisie en fonction du terrain par le logiciel de guidage DTM 2000. Le long d'un profil, les données sont émises en continu mais l'enregistrement se fait toutes les deux (2) secondes. La direction des profils, généralement perpendiculaire aux rives, est choisie par l'hydrographe qui calcule le cap et navigue à cap constant. Durant le levé, il arrive de constater des formes de fond particulières sur les profils (des hauts fonds ou des fosses). Dans ce cas on procède à un balayage plus serré. Après le traitement des données par des logiciels, l'hydrographe peut établir les plans bathymétriques.

I-8 Les Moyens de lutte contre l'envasement

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement, beaucoup d'efforts ont été déployés par les services de l'hydraulique dans la lutte contre l'envasement, plusieurs solutions sont proposées:

I-8-1 La conservation des sols

Comme moyen de minimiser la pénétration de matériaux solides dans une retenue, deux méthodes de conservation des sols utilisées pour freiner l'érosion :

A. L'implantation de structures anti-érosion.

B. L'aménagement des bassins versants et des cours d'eau.

Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs, et l'aménagement de cours d'eau : en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent, ouvrages qui arrêteront les matériaux et diminueront la pente, qui sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source. [REMINI, AVENARD, KETTAB 1997], [LAURA, IBANEZ, SOPHIA 2003]

Ci-après la photo (1.4) fournis quelques exemples de seuils de sédimentation en gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin versant du barrage BAKHADDA en vue de réduire la torrencialité du réseau hydrographique par la réalisation d'un nombre déterminé de ces ouvrages sur le même affluent.



Photo (1.4) : Seuils de sédimentation en Gabions et en pierres sèches réalisés dans le bassin Versant du barrage BAKHADDA

Si le bassin versant en question n'est pas très grand, les effets de la conservation des sols se feront sentir très rapidement. D'après certaines expériences réalisées aux

ETATS-UNIS, on peut réduire l'érosion des sols de jusqu'à 95 % en employant, exclusivement les méthodes traditionnelles de culture .

Dans le cadre de la protection des bassins, un programme spécial a été lancé par les services des forêts. Il s'agirait de traiter une superficie de 1,5 millions d'hectares d'ici l'an 2010 dans le territoire national. Les coûts sont évalués à environ 16 milliards de DA.

B-1. Le reboisement, restauration des sols, confection de banquettes, plantation des cultures [Abdellatif B-A et al 2006] suivant les courbes de niveau et fixation des berges des oueds « Le revêtement des berges pour réduire leur érosion». D'après les services de l'AEP au ministère des Ressources en eau, le reboisement, c'est une action préventive. Vingt-sept bassins versants sont concernés par les opérations de reboisement pour protéger les barrages face à l'érosion. Comme le bassin versant des Issers (barrage de Beni Amrane) qui fait 3700 km² ou celui de Béni Haroun, 7200 km². Il y a également, ajoute-t-il, la nature du sol pour déterminer les espèces d'arbres à planter. Pour 2010, il est prévu de consacrer un budget de 18 milliards de DA à ces opérations.

B-2. La réalisation des barrages de décantation à l'amont : On peut construire plusieurs types de structures dans le bassin. par exemple, des bassins de rétention conçus soit pour retenir les matériaux solides définitivement pendant la durée de vie de l'ouvrage, soit pour stocker les matériaux solides provenant du ruissellement créé par un certain nombre d'orages entre des vidanges périodiques. L'exemple en Algérie, c'est le cas du barrage de BOUGHEZOUL situé a la ville de MEDEA qui est exploité partiellement comme bassin de décantation du barrage de Ghrib, Il réduit l'envasement de Ghrib de près de 24 %.

B-3. La réalisation des barrages de chasses : Le barrage de chasse transforme les faibles débits, en provenance de l'oued en ondes à grand débit au moyen des vannes de fond qui provoquent d'un courant de densité. Le rendement des opérations de soutirage peut être augmenté par la création d'ondes de crues artificielles provenant d'un barrage de chasse réalisé à l'amont du barrage à protéger. (Les spécialistes déconseillent le recours à ce procédé (chasse) dans les pays arides et semi-arides suite au temps important de remplissage de l'ouvrage.) La Méthode utilisée pendant les premières crues pour les barrages de moindre importance (tel que barrage du barrage Hamiz, Beni Amrane, K'sob, ...). Cette méthode est efficace quand elle est possible. Elle consiste à vider complètement le barrage au début de l'automne et à le laisser vide, toutes vannes ouvertes, jusqu'aux premières pluies. La première crue enlève sans difficulté les vases de l'année non encore consolidées. [REMINI 1997]

I-8-2 Le soutirage des courants de densité

Une méthode pratique qui consiste à évacuer les sédiments drainés par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant des pertuis de vidange (vannettes de dévasement ou vanne de fond) du barrage. Les opérations de chasses et le soutirage des courants de densité doivent être maîtrisés afin d'arriver à évacuer le maximum de vase avec un minimum d'eau.

En Algérie, D'après Remini, La technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues de barrages en Algérie compte tenu de son faible coût et surtout de la présence des courants de densité dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70 % des apports solides totaux entrants dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'Ighil Emda est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif

installé spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois.

I-8-3 la surélévation des digues

La surélévation constitue l'une des techniques qui permettent de prolonger la vie d'un barrage. L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante. [M. KASSOUL, A ALBDELGADER, M BELORGEY 1997].

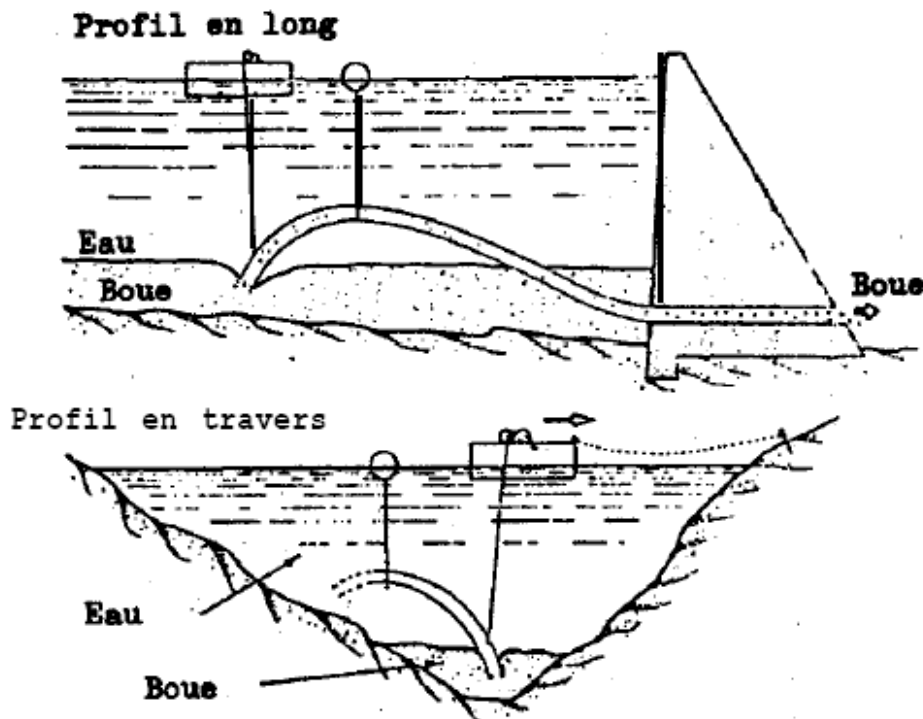
En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévage en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m³. Cette technique a été réalisée sur notre barrage BAKHADDA, Certes, cette réserve supplémentaire créée par la surélévation a augmenté la durée de vie de ces ouvrages, mais l'évolution de l'envasement dans le temps croît beaucoup plus rapidement qu'à l'état initial (sans surélévation).

I-8-4 Extraction par siphonnement

La méthode d'évacuation des sédiments par un siphon à un barrage a été envisagée pour la première fois par Jandin, au siècle dernier [BROWN 1944], L'ingénieur Jandin a développé et utilisé cette méthode entre 1892 et 1894, pour évacuer des sédiments avec un siphon à travers le barrage de Djidiowia en Algérie. 1,4 x 10⁶ m³ de limons et d'argile ont été évacués en trois ans.

L'appareil de Jandin se composait d'un tuyau flexible d'un diamètre de 61 cm, avec une capacité d'évacuation de 1,53 m³/s dans des conditions normales d'opération. A partir d'une ouverture dans le bas du barrage, il était relié à des pontons flottants en tôle, ce qui permettait de déplacer le tuyau dans la retenue dans un rayon d'environ 1.6 km. Une turbine installée près de l'embouchure du tuyau, et actionnée par l'écoulement dans le tuyau, était reliée à un appareil à roues coupantes près de la prise d'eau du tuyau, qui était conçu pour remuer les sédiments. [PANEL 1986]

Hannoyer (1974) a développé une nouvelle méthode basée sur le principe de "l'hydro aspirateur" proposé par Jandin 80 ans auparavant (Figure 1.13). Un tuyau flexible est relié à la vidange de fond. Le tuyau est amovible afin de créer une charge pour évacuer les sédiments. Il n'y a pas besoin de pompe. Le tuyau peut avoir une longueur de plus de 2 km, et il est attaché à des flotteurs afin de rester au-dessus de la surface de la vase [cité par PANEL 1986].



o aspirateur".

04]

ement de matériaux,
s d'eau ou d'un plan
atique dans un but

d'aménagement ou d'entretien, c'est-à-dire tous travaux nécessaires pour rétablir un cours d'eau dans sa largeur et sa profondeur naturelle. Cela exclut un approfondissement ou un élargissement du lit. [RIMINI et al 1997] [Méthodes de gestion et réutilisation des sédiments polluant 2000]

D'après Musa 1981 «dans sa thèse» : définit les dragages comme étant «des terrassements effectués sous l'eau avec des engins flottants au moyen de procédé mécanique ou par aspiration» en fait, les procédés peuvent être mécanique, hydrauliques ou pneumatiques. Cette définition correspond assez bien à l'idée que l'on se fait aujourd'hui du dragage dans notre environnement très industrialisé.

Le dragage peut également être défini de façon générale comme l'ensemble des actions caractérisées par un prélèvement de matière par excavation sous l'eau par un déversement de ces produits dans la veine de l'eau, coté aval de la retenue ou sur le rivage.

L'opération de dragage peut se décomposer en plusieurs étapes : Etudes préalables et caractérisation des sédiments, choix de la filière de destination, extraction des boues, transport des matériaux de dragage, et traitement, mais selon certains auteurs, la récupération d'une capacité de stockage par dragage est une opération très coûteuse qui n'est pas économique pour les grandes retenues [ICOLD 1989]. La première drague utilisée en Algérie en 1957 est la drague réfouleuse «Lucien Dumay». Depuis les années 2000, plus de 20 millions de m³ de vase ont été extraits de nos barrages.

Un nombre important de barrages ont été récupérés par la technique de dragage et leur durée de vie se trouvent prolonger de plusieurs années

I-8-5-2 Histoire de dragage

D'après Gower G.L (1968) les premières techniques de dragage ont été développées au néolithique par les communautés vivant dans les vallées du Nil, de l'Euphrate, du Tigre et de l'Indus. Ces civilisations ont en effet développé des techniques pour récupérer les terres fertiles des estrans et irriguer les terres arides potentiellement fertiles par des réseaux de canaux. Ces techniques sont à l'origine de l'essor des premières civilisations agricoles.

Plusieurs références historiques relatent la réalisation de travaux hydrauliques durant les quatre premiers millénaires avant Jésus-Christ en Mésopotamie et en Égypte.

Les Sumériens qui vivaient dans les marais du sud de la Mésopotamie (4000 ans av. J.C) ont construit un réseau dense de canaux pour lutter contre les crues. Cette époque connaît également en Égypte, la réalisation du premier canal reliant le Nil et la mer Rouge sous le règne de Darius d'après Linssen et Oostrebaan, ce canal a donné lieu à des travaux exécutés sous l'eau qui correspondent bien à une activité de dragage [BOUTIN 2000], [GOWER 1968].

Ces premières formes de dragage ont été menées à bien à l'aide d'outils simples certainement inspirés des équipements utilisés pour manier l'eau.

D'après [Cooper, H.R 1974], des méthodes sophistiquées existaient en Orient bien avant l'époque romaine. Le dispositif, mu par la force humaine ou animale est constitué d'une chaîne tournante équipée de palettes qui entraînent l'eau dans une sorte de toboggan placé sous la chaîne (Figure 1.15). Cette technique toujours utilisée de nos jours notamment au Cambodge. Le moulin à vase utilisé en Hollande au XVI^e siècle après J.C fonctionne sur le même principe.

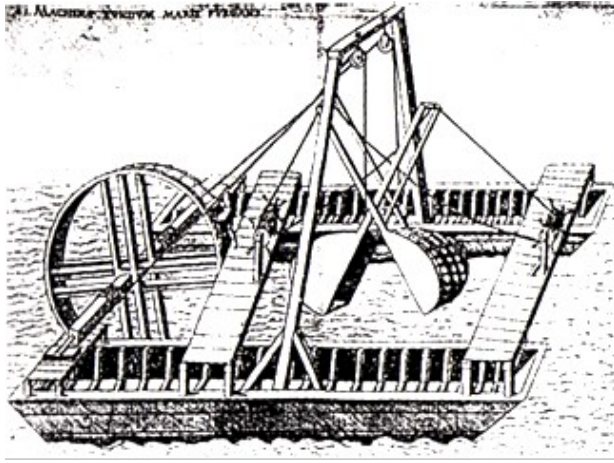


Figure (1.14): Drague à benne de verantius 1595

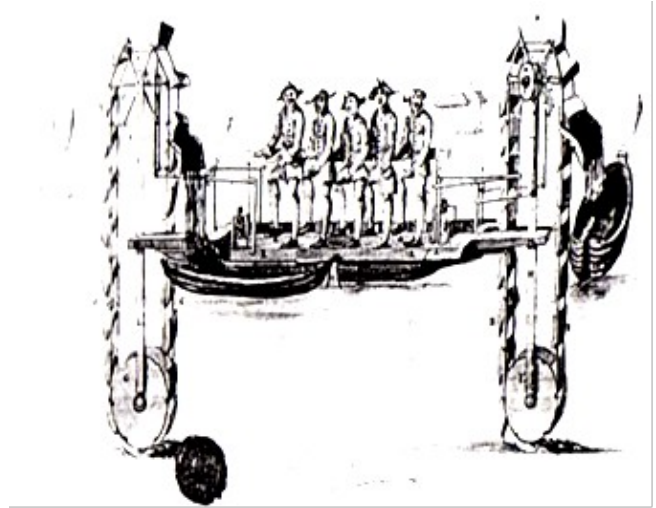


Figure (1.15): Drague à godets de F.X d'Arles de ligniere 1760

L'occupation de l'Espagne par les arabes du VIII^e au XI^e siècle permit d'importants transferts de connaissances de l'orient à l'occident .Les auteurs [COOPER 1974] évoquent notamment :

- L'invention de la benne à l'origine des dragues à benne actuelles Figure (1.14)
- la maîtrise de l'énergie du vent pour propulser les bateaux et faire fonctionner des moulins à l'eau.
- la roue à eau.

La première drague autonome utilisant le principe de l'agitation est utilisée en 1435 après J.C pour nettoyer le port de Middleburgh en Nouvelle Zélande [Cooper,1974], IL s'agit du «Krabbelaar» navire à voile équipée de herses réglables.

C'est aux États-Unis que se développent dans un premier temps les dragages dits hydrauliques utilisant les pompes centrifuges. La première drague aspiratrice équipée d'un puits à déblais, la «général Moultrie » est utilisée pour draguer le port de charleston en 1855, après cette date, le technique de dragage est progressé par des moyens utilisant la vapeur et l'hélice qui sont devenues des méthodes sophistiquées. [HERBICH, 1992].

Le XX^e siècle fait à son tour progresser les techniques de dragage, le moteur à vapeur est remplacé par le moteur diesel. Les commandes électriques et pneumatiques se généralisent. L'électronique et informatique s'installent à bord des unités afin d'améliorer les rendements et la précision des travaux.

I-8-5-3 La nécessité des opérations de dragage

D'après [LINSSEN et RINGER 1977], [SCHNEIDER, 2001], Les facteurs qui poussent à envisager le dragage sont liés soit à des considérations hydrauliques, soit à l'entretien et à la restauration du milieu. Le dragage peut avoir les objectifs suivants :

- ✍ Procéder à des travaux d'excavation sous l'eau dans les retenue des barrages «la récupération de la capacité de stockage».
- ✍ Extraire les sédiments immergés tel que sable, gravier, argile, les métaux précieux et les agents fertilisants.
- ✍ La navigation gênée ou rendue impossible par l'envasement : Entretien et approfondir les voies navigables.
- ✍ nettoyer des fonds pollués.
- ✍ Améliorer ou maintenir la capacité de débit des cours d'eau en augmente les profondeurs naturelles. [P-Y.SCORDIA 2008]

I-8-5-4 Les types de dragages

On distingue trois types de dragages qui diffèrent selon la nature des sédiments à draguer et le type de travail à réaliser :

- ❖ Entretien : sont des opérations répétitives, visant à extraire les sédiments déposés qui gênent la navigation
- ❖ Aménagements sont des opérations d'aménager et créer des canaux, des bassins de plaisance et autres voies de navigation
- ❖ l'approfondissement : sont commencés lorsqu'il devient nécessaire d'adapter le seuil de navigation et prolonger la durée de vie des barrages, les travaux nécessitent de déplacer d'importants volumes de sédiments et demandent des moyens de dragage importants. [PROULHAC .N, KER LANN 2006]

I-8-5-5 Les Techniques De Dragage Disponibles

Différentes techniques de dragage ont été développées. Il est courant de classer les équipements de dragage selon leur principe général de fonctionnement .trois catégories peuvent être recensées

I-8-5-5-1 Les dragages mécaniques

Ils s'effectuent grâce à des engins à godet qui opèrent soit depuis les berges (pelle mécanique), soit depuis la surface (pelle sur ponton, drague à godets...etc). L'extraction de sédiments pollués se fait actuellement majoritairement par cette méthode (Figure 1.16).

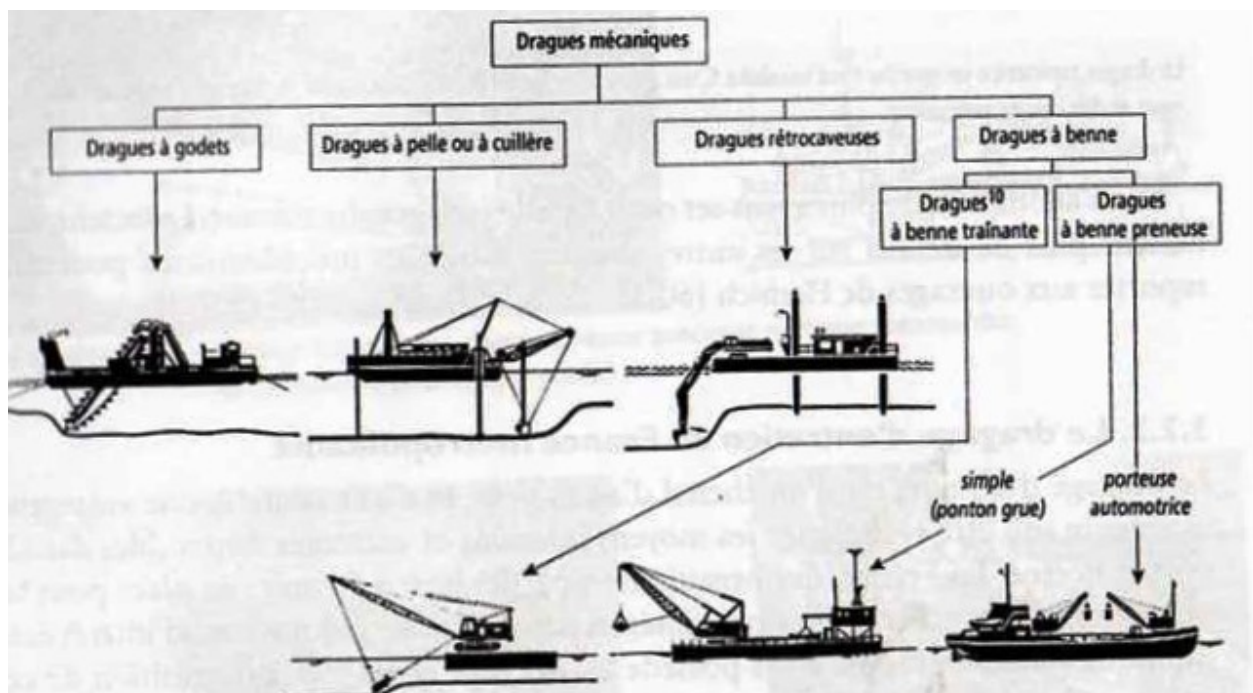
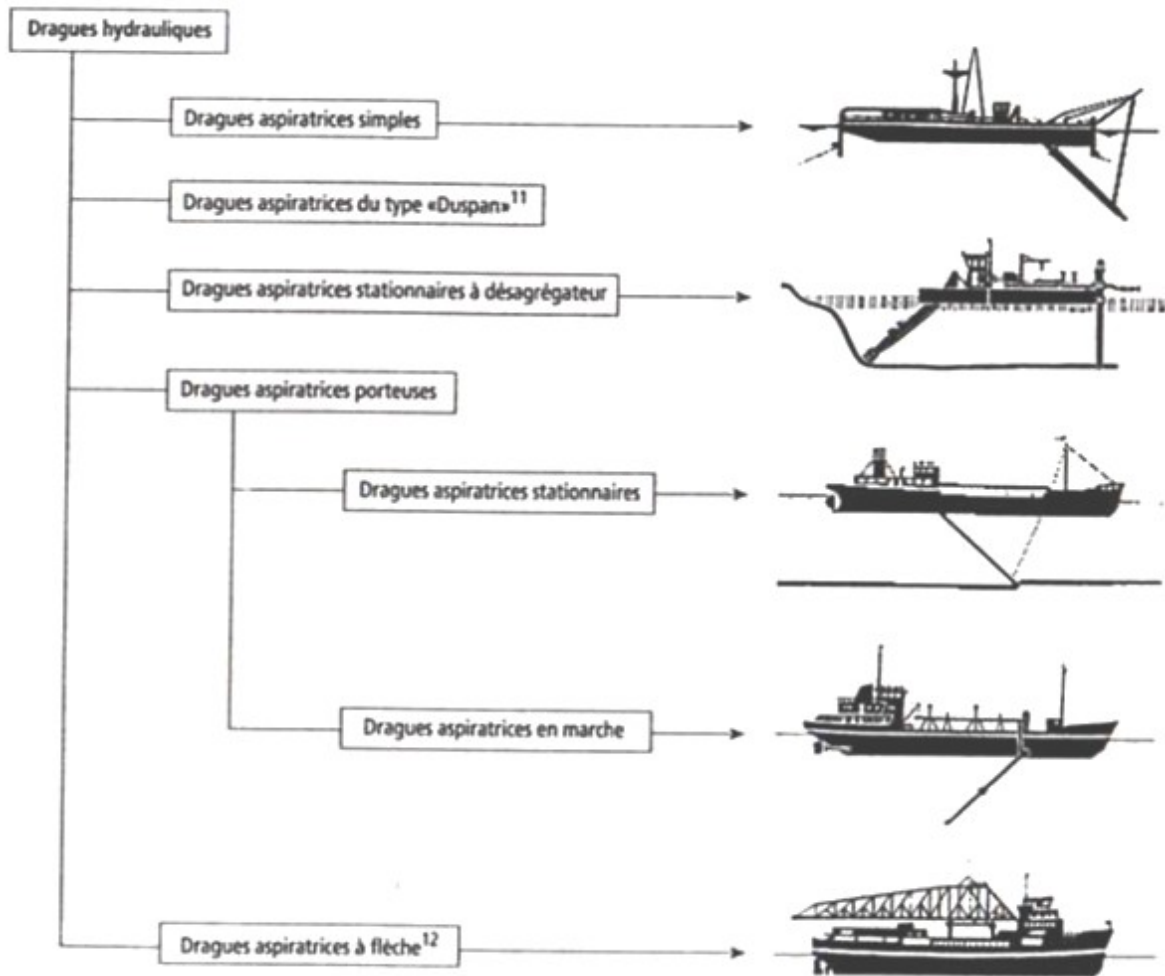


Figure (1.16): Récapitulatif des différents types de dragues mécaniques. [Roland Boutin 2000]



8-5-5-2 Les dragages hydrauliques

Ils réalisent par des dragues désagrégatrices et aspiratrices (Figure 1.17). Les matériaux sont désagrégés par jets d'eau sous pression ou par rotation d'un outil et mis en suspension pour être aspirés et évacués par des pompes vers les points de stockage. Par exemple la technique aspiratrice utilise des pompes centrifuges, aspirant à travers un tube d'élinde, muni d'un embout, appelé bec d'élinde, un mélange eau sédiments. Elles aspirent et refoulent donc les sédiments sous forme de boues liquides dont la teneur en eau varie autour de 85 %. Vis-à-vis des volumes extraits : l'une des principales différences entre les dragages mécaniques et hydrauliques est constituée par les volumes extraits et les dilutions des sédiments en place. Dans les faits, alors que les engins mécaniques ne remanient que faiblement le sédiment (foisonnement 10 %), les dragages par aspiration impliquent une dilution par 3 à 10 volumes d'eau pour un volume de sédiment en place. Schématiquement, les proportions draguées se présentent sous la forme suivante (Figure 1.18).

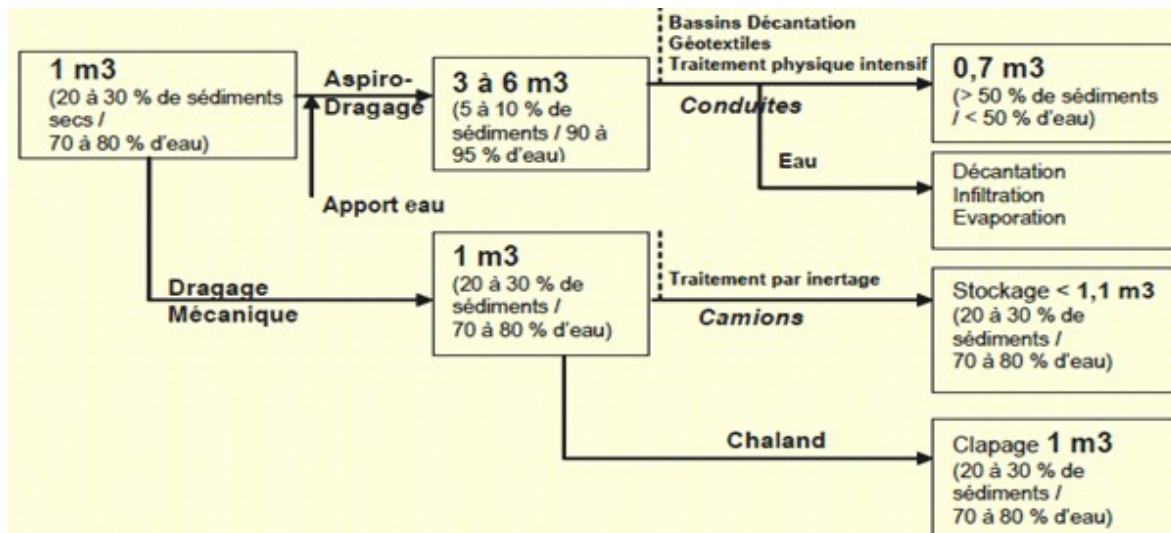


Figure (1.17): Les dragues hydrauliques. [Roland Boutin 2000]

Figure (1.18): Représentation des volumes extraits selon la technique de dragage utilisé [PROULHAC .N, KER LANN 2006]

I-8-5-5-3 Les dragages à l'américaine

C'est une technique particulière qui consiste à provoquer la remise en suspension des sédiments au moyen d'une hélice ou d'air comprimé dans les cours d'eau ou chenaux à fort courant. Les sédiments sont repris dans le flux et se redéposent le plus souvent en aval. Dans certains cas, une conduite de refoulement peut assurer le transfert des sédiments à plusieurs kilomètres du lieu de dragage.

Le dragage à l'américaine consiste à rejeter en continu dans la veine d'eau les matériaux dragués afin d'utiliser le courant naturel pour évacuer les produits. Elle se pratique pour des fleuves et rivières à fort débit.

I-9 Conclusion

A la fin de ce premier chapitre, L'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. En Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause de phénomène de l'envasement, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle

Le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable pour prolonger la durée de vie de cet ouvrage, L'envasement de la retenue augmente d'une année à l'autre .Le volume de la vase dragué dans le barrage BAKHADDA représente près de 5 10⁶ m³. En raison de ces quantités considérables, la valorisation de ces vases du dragage demeure un véritable enjeu.

Chapitre II

Aperçu Sur L'envasement Des barrages Au Maghreb Arabe

Chapitre II

Aperçu Sur L'envasement des barrages au Maghreb Arabe

II-1 Introduction

Tous les barrages du monde sont exposés au phénomène de la sédimentation, mais avec des vitesses qui diffèrent d'une région à l'autre. Ce phénomène a été largement signalé aux Etats Unis, en Russie, à Taiwan, en Chine, en Inde, en Iran, au Soudan et en Maghreb. Dans cette région, L'infrastructure hydraulique est amputée annuellement de 2% à 5% de la capacité globale [DEMMAK, 1982], où L'envasement des barrages constitue un problème majeur dans les pays du Maghreb comme l'Algérie, le Maroc et la Tunisie, Les 250 barrages du Maghreb d'une capacité totale de 23 milliards de m³ reçoivent annuellement une quantité de vase évaluée à 130 millions de m³ [REMINI.B 2007]. La perte en capacité de stockage de ces ouvrages hydrauliques se voit croître sans cesse au fil des temps en raison d'une érosion hydrique importante favorisée par l'agressivité du climat, l'alternance de périodes sèches et humides, Les pluies d'automne sont intenses et dévastatrices pour les sols, la fragilité des formations géologiques, l'absence du couvert végétal suffisant et l'action de l'homme.

II-2 L'envasement dans le Monde

D'après Taleb (1987) [cité par REMINI et al 1997] a donné une idée sur les pertes de capacité de quelques barrages dans le monde dues à l'envasement (Tableau 2.1):

Tableau (2.1): Pertes de capacité dues à l'envasement dans certains pays du monde

Pays	Barrages	Capacité initiale 106 m3	% annuel de perte de capacité
Algérie	K'sob - Cheurfa -Foum el guerza - ghrib	1.6 ; 14.4 ; 47 ; 280	2.5 ; 2 ; 1.7 ; 1.1
Autriche	Bachental, burg	0.7 ; 0.24	3, 2.5
Chine	Hesenglin, Sanmenxia	8.6 ; 9.64	6.5 ; 5.5
Espagne	Dona AL Donza, Pedro marin, Las torcas	23 ; 19 ; 8.9	6.5 ; 5.9 ; 1.9

France	Beauvoir, Escale (durancier)	11 ; 15.7	3 ; 4.2
Grèce	Lauros, Tungabhadra	1 ; 3750	4.3 ; 1.4
Inde	Nizamascar, Panchet Hill, nickor	1050 ; 1580 ; 43	1.4 ; 0.7 ; 6.3
Maroc	Lalla takerkouste, Mohamed V, Ibn battouta	77 ; 725 ; 43.6	2 ; 2 ; 1
Etats Unis	Laguanda(colorado arizona), Imperial (colorado arizona), Austin (colorado texas), Boysen (big Horn river), Mc milan (n.mexique), Zuni (zuni river), Alhogordo (n.mexique), Worth (west forth trinty)	25 ; 104 ; 39.4 ; 22 ; 35 ; 19.5 ; 191 ; 58.2	100 ; 11.2 ; 7.35 ; 6.25 ; 6.1 ; 3.5 ; 2.3 ; 2.3

II-3 L'envasement dans le MAGHREB

II-3-1 TUNISIE

En Tunisie, l'eau revêt un caractère stratégique de développement économique et social en raison de sa rareté. Les retenues des barrages tunisiens perdent annuellement 0,5 % à 1 % de leur capacité par alluvionnement. Les moyennes annuelles des pertes de capacité de stockage des retenues des barrages tunisiens pourraient atteindre 530 Mm³, soit 37 % de la capacité initiale de toutes les retenues en exploitation. D'après [GE.O.R.E, 2001], en 2030, la perte de capacité de stockage des barrages en exploitation pourrait atteindre 43 % de leur capacité initiale. Les aménagements amont et les travaux de conservation des eaux et des sols permettent de réduire le taux d'envasement et de prolonger la durée de vie des grands réservoirs. D'après les résultats des différentes

campagnes de mesures d'alluvionnement, le Tableau [2.2] donne un aperçu sur les Caractéristiques et l'envasement des barrages de Tunisie [BEN MAMMOU et LOUATI 2006]. [PROBST, AMIOTTE 1992] [SNOUSSI et al 1990]

Tableau (2.2): Caractéristiques de l'envasement des barrages Tunisiens

Barrages de Tunisie	Superficie du B.V (km ²)	Année mise en service	Capacité initiale (Mm3)	Année des campagnes de mesure de l'alluvionnement.	Évolution d'alluvionnement. (Mm3)	Alluvionnement moyen. (Mm3/an)
El Kébi	250	1925	22	1931, 1945, 1950,	1,5 -2,8 -4,8 -6,5	0,25 0,14 0,192
				1954, 1967, 1968,	-10,3 11,7 12,8 13,8	0,224 0,245 0,272
				1979, 1981, 1995	17,65	0,237 0,246 0,252
Ben Metir	103	1954	61,6	1986	4	0,12
Mellegue	10 300	1954	270	1975, 1980,1991, 2000	54,5 90 142 179	2,59 3,46 3,8 3,89
Bezirk	75	1959	6,4	1975, 1993	1,7 2,3	0,017 0,06
Chiba	64	1963	8	1975, 1991, 1995	2,7 3,5 3,75	0,2 0,27 0,29
Nebhana	855	1965	86	1975, 1992, 2002	12,9 20 24,4	1,29 1 0,68

Lakhmess	127	1966	8,2	1975, 1991, 2000	2 2,3 3,3	0,22 0,048 0,094
Kasseb	101	1968	82	1986	2,8	0,15
Masri	40	1968	6,9	1975, 1991	1,3 0,88	0,16 0,11
B.M'cherga	1 263	1971	53	1987, 1994, 2002	6,2 7,1 11,4	0,29 0,37 0,35
B. Heurtma	390	1976	117,5	1993	2	0,13
Sidi Saad	8 950	1981	209	1988, 1993, 2000	6,9 28,9 55,2	0,98 2,41 2,9
Sidi Salem	7 950	1981	814	1987, 1989, 1991, 1998, 2002	30,6 47 52 87,5 139	5,1 5,87 5,2 5,15 6,6
Joumine	418	1983	130	2000	10,8	0,675
Ghezala	48	1984	11,7	1993	0,2	0,022
Lebna	189	1986	30,1	1994, 2002	0,54 6,22	0,068 0,37
Siliana	1 040	1987	70	1994, 2002	4,1 16,9	0,63 1,05

El Houareb	1 120	1989	43 95,3	1994, 1998	8,18 13,3	1,48 1,33
Sejnane	367	1994	137,5	2002	2,7	0,5

II-3-2 MAROC

Les infrastructures hydrauliques Marocaines enregistrent une perte en volume avoisinant de 0.5% de la capacité totale de stockage qui est de 10 milliards de m³. L'envasement des barrages est estimé à 75 millions de m³/an. La perte en capacité des grands barrages dépasse maintenant les 820 millions de m³. A titre d'exemple, le barrage Mohamed V au Maroc, d'une capacité de 567 hm³ reçoit annuellement un volume de vase de 14,5 hm³, soit une perte annuelle de 2,5 % de sa capacité totale [Remini et Hallouche2007]. Tous les barrages construits depuis plus de 20 ans sont envasés à plus de 10% de leur capacité initiale (Tableau 2.3) [SIDI ADDA 2005] [SABIR, ROOSE, OUAGGA, BENSALAH, DORE]

Tableau (2.3): La dégradation annuelle des bassins versant et l'envasement des barrages Marocains [Abdelhadi Lahlou 1988]

Barrages du Maroc	Superficie du B.V (km ²)	Année de mise en service	Capacité Initial (Mm3)	Envasement Année (Mm3/an) 1987	Dégradation Annuelle (t/km2/an) 1987
M.B Abdelkrim Alkhatabi	780	1981	43	2.70	5900
Ibn Batouta	178	1977	43,6	0.65	3933
Nakhla	107	1951	13	0.07	2500

El Makhazine	1820	1979	789	1.02	2700
Moulay youssef	1441	1970	198	0.59	1850
Lalla Takerkoust	1707	1935	34,4	0.50	350
Idress 1er	3680	1973	1217	2.15	3200
Ben elouidane	6400	1953	1484	3,60	870
Hassan addakhil	4400	1971	369	1.0	260
Mansour eddahbi	15000	1972	567	2.2	210
Al massira	28500	1979	2724	7,5	375
El kansra	4540	1935	330	1.25	330
Mohamed V	49920	1967	725	10	210
Youssef ben tachfine	3784	1973	310	0.50	170
Sidi Med ben	9800	1971	493	0.51	200



	200

à partir des années 2000 directes et graves sur l'économie nationale et sur le développement de la société tout entière. Ce phénomène de l'envasement touche l'ensemble des barrages algériens. [REMINI et al, 2006].

Le premier barrage construit en Algérie, en 1846, est le barrage de Sig. Il a été abandonné faute de son envasement rapide. En 1957, les barrages d'Algérie d'une capacité de 900 Mm³ avaient accumulé près de 200 Mm³ [VALEMBOIS, MIGNIOT, 1975] [BOUTKHIL, HABI, HAMOUD 2007].

En 1890, il existait en Algérie neuf barrages, d'une capacité de 61 Mm³ et un volume de Vase de 2,7 Mm³. Cette capacité a atteint 1 milliard de m³ en 1962. A partir de cette date Le nombre de barrages a augmenté considérablement.

Les années 80 ont connu des taux d'envasement avoisinant les 20 millions de tonnes annuels alors que les années 90 ont atteint déjà les 35 millions de tonnes annuels, les années 2000 vont crescendo et grimpent à la valeur de 45 millions de tonnes annuels. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les années à venir seront très dures pour les zones arides et semi-arides. Le taux d'érosion spécifique a été évalué à 180 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versants du Nord algérien Figure (2.1). En effet, la région enregistre les valeurs les plus élevées de la planète. Plusieurs exemples témoignent de la gravité du problème. Le taux d'érosion spécifique atteint la valeur de **5000** t/km²/an sur le bassin versant de l'oued L'Agrioum (Est de l'Algérie). [DEMMAK 1982 cité par Mahi Tabet -Aoul 2000 et TERFOUS A et all 2003].

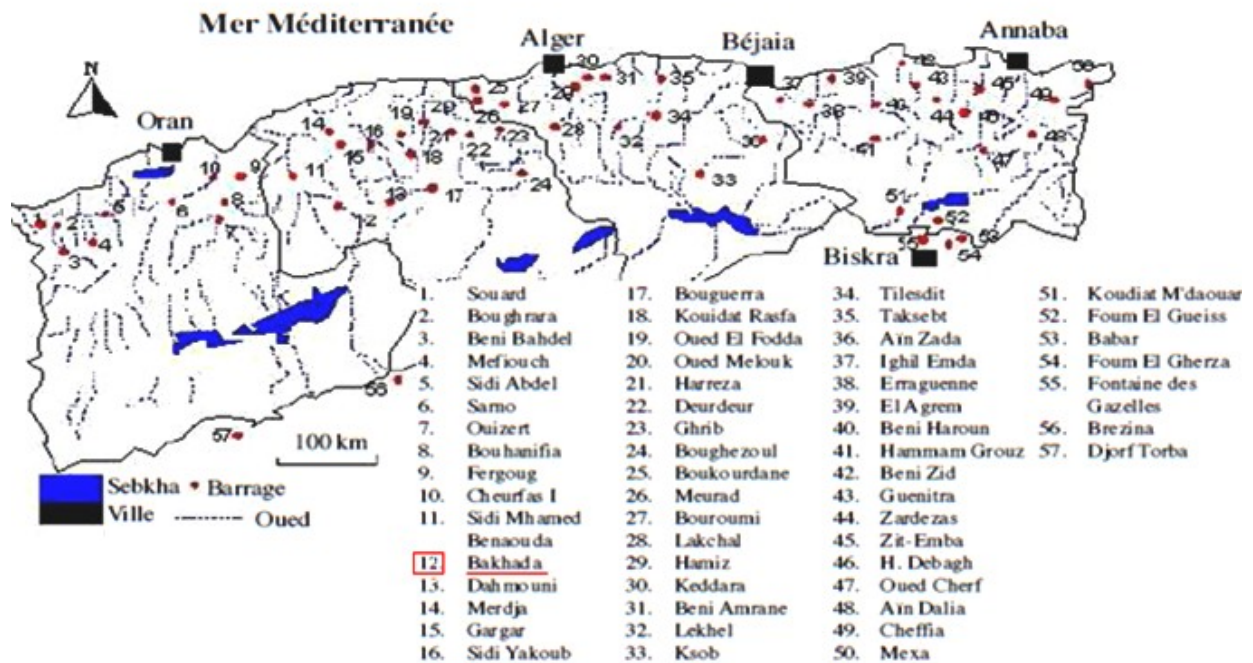


Figure (2.2): Répartition des barrages en exploitation dans le Nord algérien Sebkhia, en langue arabe, signifie lac ou étang salés (Remini.B et Hallouche, 2007).

Selon une récente étude basée sur des séries statistiques comportant les données de 57 grands barrages [Figure 2.2], l'Algérie perd par envasement 45 à 50 millions de m³ chaque année, ce qui représente une perte de capacité annuelle égale à 0,7 % de la capacité totale.

Le volume de vase estimée en 2006 était de 1,1 milliards de m³, soit un taux de comblement de 17 % [REMINI et HALLOUCHE 2007]. Certains barrages ne contiennent pratiquement que de la vase, à l'exemple du Fergoug qui est envasé à 80 % (capacité : 16 millions de mètres cubes, remplissage : 400 000 mètres cubes). Nos barrages se transforment de plus en plus en réceptacles de vase que d'eau Tableau (2,4).

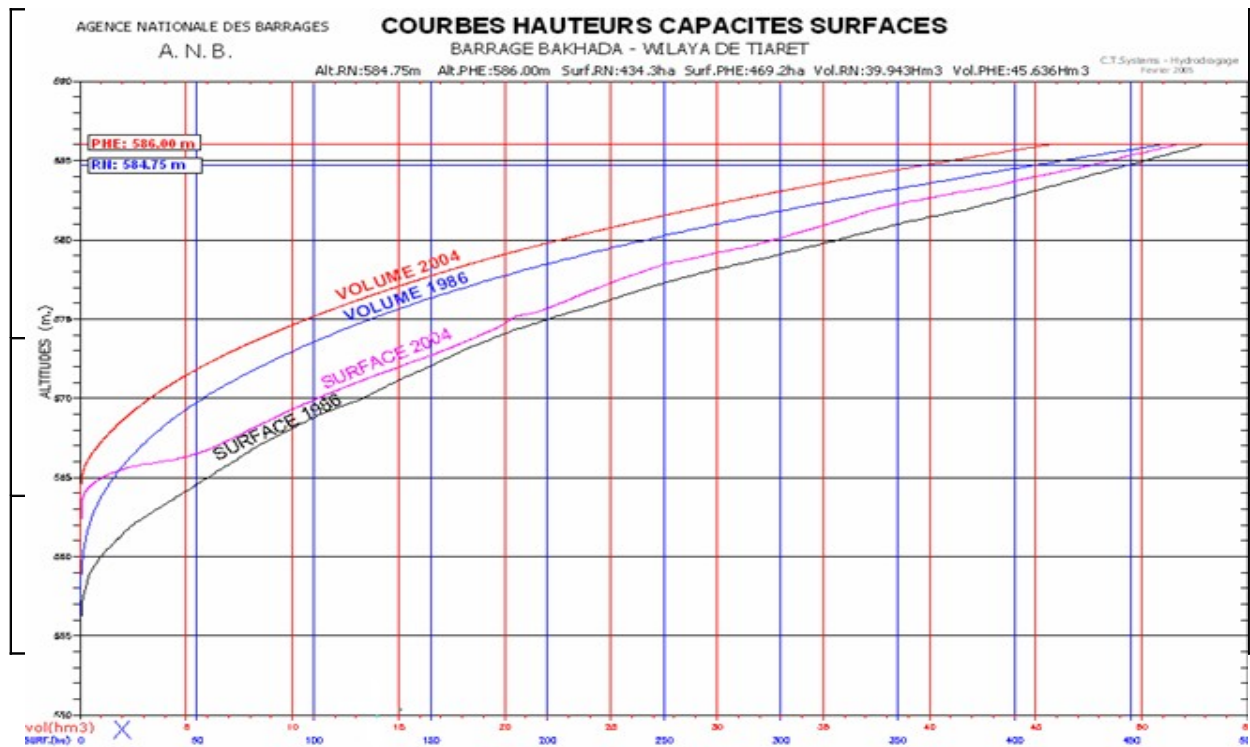
Face à ce problème, les services d'hydraulique ont déployés d'énormes efforts depuis plusieurs années. Ainsi, différents moyens techniques de lutte ont été expérimentés en Algérie, ce qui a donné comme résultats le prolongement de la durée de vie de plusieurs barrages. Le dévasement par dragage est devenu aujourd'hui une option inévitable pour prolonger leur durée de vie. Actuellement, sept barrages sont en cours de dévasement par dragage, il s'agit de Foug el Ghzal (Biskra), Ksob (M'sila), Zardezas (Skikda), Sidi Abdelli (Relizane), Bouhanifia et Fergoug (Mascara) et notre barrage «BEKHADDA» (Tiaret). Coût de ces opérations 8 milliards de DA.

Tableau (2.4): Quantification de l'envasement des barrages algériens [Source A.N.B.T]

Barrages	Superficie	Année de	Capacité	Période de	Envasement	Capacité	Perte en
----------	------------	----------	----------	------------	------------	----------	----------

	du B.V (Km2)	mise en service	initiale (Mm3)	calcul	moyen (Mm3/an)	en 1986 (Mm3)	capacité %
Boughzoul	19 740	1934	55	1934/1986	0,570	20,38	62,94
Ghrib	23 300	1939	280	1939/1986	2,49	138,57	50,51
oued fodda	790	1932	228	1932/1986	2,246	132,3	41,97
bakhadda	1275	1936	56	1963/ 1986 / 2005	0.273	45,44	28.67%
SMBA	6100	1978	235	1978 /198 5	1,17	227,4	3,23
Hamiz	137	1879	21	1935/1986	0,155	8,49	59,57
Eghil emda	650	1953	154	1954/1974	1,832	120	22,07

Zardazas	346	1936	31	1977/1986	0,450	14,78	52,32
lacheffia	575	1965	171	1965/1986	0,124	168,4	1,52
K'sob	1470	1977	31	1977/1986	0,395	12,43	59,90
Foum elgherza	1300	1950	47	1950/1986	0,590	25,76	45,19
Foum el gheiss	153	1939	3	1939/1986	0,030	1,6	46,66
Cheurfa	4015		14	1882/1967	0,061	9	35,71
Bouhnifia	7850	1948	73	1944/1967	0,913	52	28,76
B.Amrane	3710	1988	16	1998	0.89	7.1 (1998)	5.5
Fergoug III	8274	1970	18	1970/1986	0,881	3,9	78,33



II-3-3-1 Un aperçu sur le taux d'envasement du barrage BAKHADDA

D'après REMINI (1997 /2007)

- la Capacité initiale de 56 millions m³
- la Capacité en 1986 de 45 millions m³
- la Capacité en 1995 de 13 millions m³
- la Capacité en 2000 de 12 millions m³

D'après le service d'exploitation du barrage BAKHADDA la Capacité en 2010 est de 39.328 millions m³. Les principaux résultats de la campagne bathymétrique, du mois de février 2005 Sont les suivants (Figure 2. 3) :

Cote de retenue normale des eaux (RN : 584.75 m.)

- Surface du réservoir : 434.30 ha
- Volume du réservoir : 39.943 Hm³

Cote des plus hautes eaux exceptionnelles (PHE : 586.00 m.)

- Surface du réservoir : 469.20 ha
- Volume du réservoir : 45.636 Hm³

Figure (2.3) : Courbe Hauteurs-capacités-surfaces du barrage BAKHADDA

D'après les informations disponibles, deux sociétés ont fait précédemment des levés dans ce réservoir se sont (Tableau 2.5) :

- ✓ La société française C.G.G (Compagnie Générale de Géophysique 1974)
 - La surface du réservoir à la cote de la retenue normale de 447.54 ha
 - La surface du réservoir à la cote de la retenue maximale (PHE) 477.74 ha
 - La capacité du réservoir à la cote de la retenue normale 45.360 hm³
 - La capacité du réservoir à la cote de la retenue maximale (PHE) 51.144 hm³
- ✓ La société polonaise GEOKART EN 1986
 - La surface du réservoir a la cote de la retenue normale 449,71 ha
 - La surface du réservoir a la cote de la retenue maximale (PHE) 481.09 ha
 - La capacité du réservoir a la cote de la retenue normale 45.143 hm³

➤ La capacité du réservoir a la cote de la retenue maximale (PHE) 50.961 hm³

Tableau (2.5) : Comparatif des volumes a la cote de retenue normale (RN 584.75 m)

Année du levé Société	1936	1974 CGG	1986 GEOKART	2005 HYD/CT SYSTEMS
Capacité Hm3	56	45.36	45.143	39.943
Perte de capacité Hm3	0	10.64	0.217	5.2
Nombre d'année	0	38	12	19
Perte de capacité annuelle Ha	0	0.28	0.018	0.273

Perte de capacité moyenne annuelle des 19 dernières années du barrage est de 0.273 Hm³/An. Taux d'envasement du barrage BAKHADDA est : 28.67 %

Tableau (2.6) : Comparatif des surfaces a la cote de retenue normale (RN 584.75 m.)

Année du levé Société	1936	1974 CGG	1986 GEOKART	2004 HYD/CT SYSTEMS
Surface	-	447.54	449.71	434.3
Perte de surface	-	-	+2.17	15.41

Nombre d'années	-	38	12	19
Perte de surface annelle Ha	-	-	0.18	0.81

- Perte de surface annuelle de 1986 à 2005 0.81 ha/année.
- Cote minimale enregistrée en 1986 par Geokart est de 551.95 m
- Cote minimale enregistrée en 2005 près de la prise d'eau 551.09 m.

Ce tableau peut être traduit comme suit :

- ✓ L'évaluation de la perte de capacité annuelle moyenne de 1986 à 2005 est de **0.273** Hm³/année.
- ✓ L'évaluation de la perte de surface annuelle moyenne de 1986 à 2005 est de **0.81** ha/année.
- ✓ Le taux d'envasement du barrage est de **28.67%**

II-3-3-2 Dragage du barrage BAKHADDA

La présence du barrage BAKHADDA sur un cours d'eau entraîne un ralentissement de l'écoulement et par voie de conséquence, une sédimentation des matières solides .ces dépôts, lorsqu'ils sont importants, peuvent constituer une gêne pour l'exploitation de ce barrage.

L'accumulation des sédiments dans la retenue de barrage BAKHADDA nécessite des opérations régulières de desenvasement indispensables à leur bon fonctionnement.

Le dragage de la retenue étant, pour des raisons techniques et économiques, une solution exceptionnelle. L'opération en cours consiste à draguer 5 millions de m³ de vase de notre barrage.

Le secteur de l'hydraulique de la wilaya de Tiaret a bénéficié d'un projet stratégique de dragage de vase d'une quantité importante à partir de la cuvette du barrage de BEKHADDA. D'un montant de l'ordre de 80 milliards de centimes, cette opération initiée, faut-il le préciser, par l'Agence nationale des barrages et des transferts (ANBT), est destinée essentiellement à la protection du barrage contre l'envasement évalué jusque-là, de l'avis des spécialistes du domaine, à 20 millions de m³. Les mêmes sources indiquent par ailleurs que ce projet, qui prendra effet à partir du mois de mars 2009, s'inscrit dans l'optique d'une préservation et de sauvegarde de cet ouvrage contre la pollution sous toutes ses formes sachant que ce dernier est perçu comme un atout vital, du fait qu'il est le seul à alimenter la population de Tiaret ainsi que certains centres urbains en eau potable. Cette opération de dragage confiée à une entreprise HYDRODRAGAGE-C.T.SYSTEMS spécialisée en la matière devrait utiliser des techniques ultramodernes. Drague stationnaires suceuse-refouleuse «Djebel DEBAGHE» puissance 5000 m³/h (1500 solide par heure, 20% à 30%). (Photo 2.1)

Pour évacuer la boue du barrage, sans pour autant perturber la gestion et la distribution des eaux par l'ADE qui affiche d'ores et déjà un grand soulagement dans la mesure où cette action de dragage n'est pas sans retombées positives sur l'amélioration de la qualité mais aussi de la quantité du précieux liquide.



Photo (2.1) : Drague stationnaire «DJEBEL DEBAGHE» à barrage bakhadda 2009/2010

La mise à terre des sédiments de dragage peut être effectuée suivant une des trois options suivantes :

- ✓ la mise à terre dans une chambre de dépôt de dragage
- ✓ la mise à terre dans une ballastière
- ✓ le déchargement «à sec» sur un site dédié.

La qualité des sédiments dragués (valorisation éventuelle) et la distance du site de dépôt le plus proche apte à recevoir ces sédiments guideront le choix parmi ces trois options.

La boue à dégager du barrage BAKHADDA sera déversée dans des 08 bassins de décantation : La technique consiste tout simplement en un aménagement adéquat. Une succession de bassins de décantation sont creusés plus en amont du barrage à dévaser «terres incultes d'une superficie de 200 hectares». Les boues extraites sont déposées dans ces bassins, et après décantation, les eaux sont acheminées gravitairement vers leur lieu d'origine (photo 2.2).



Photo (2.2): Les Bassins de décantations des sédiments dragués du barrage BAKHADDA avant et après l'opération de dragage.

II-4 Conclusion

Le phénomène de l'envasement touche les pays du Maghreb, mais plus particulièrement l'Algérie et s'est accéléré à partir des années 2000 (particulièrement à partir de 2003).

L'envasement des barrages marocains pourrait dépasser les 150 millions de m³ par an en 2030, et ce en supposant que l'érosion conserve sa cadence actuelle et ne s'aggrave pas par une sollicitation accrue des sols et du couvert végétal sous l'effet de la pression

D'après [GE.O.R.E 2001], En 2030, la perte de capacité de stockage des barrages en exploitation tunisiens pourrait atteindre 43 % de leur capacité initiale.

Devant cet état de fait, la prévision du phénomène présente un grand intérêt économique, permettant de définir aux projeteurs et gestionnaires les précautions nécessaires à prendre pour sa réduction.

Chapitre III

Présentation du barrage de BAKHADDA

Chapitre III

Présentation du barrage de BAKHADDA

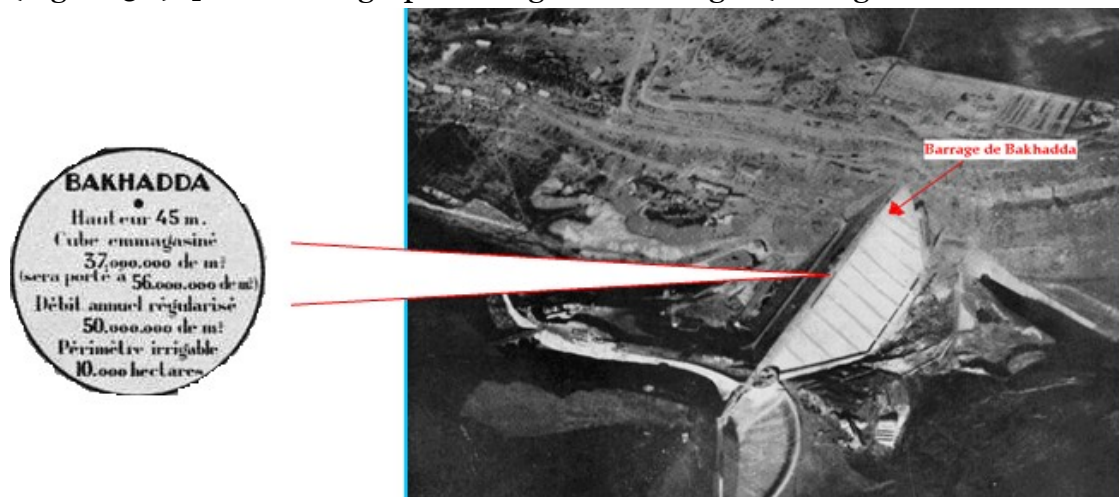
III-1 Introduction

La connaissance du site à travers sa localisation, la taille du bassin versant, la nature géologique des formations soumises à l'érosion, son historique mettant en évidence son importance économique, sont autant d'éléments qui peuvent caractériser les sédiments à valoriser, en matière d'ordre de grandeur des volumes à traiter et des moyens à mettre en œuvre dans le cadre global de la valorisation de la vase.

III-2 Situation et caractéristiques du barrage

III-2-1 Historique du barrage de BAKHADDA

Le barrage de BAKHADDA est l'un des premiers barrages en enrochements construit en Algérie. Il est situé sur le cours supérieur de la MINA, affluent de l'Oued Chélif à proximité du village de MACHRAA SFA à 25 km à l'Ouest de la wilaya de Tiaret. Il est principalement destiné aux irrigations de la plaine de Relizane (Photo 3.1) et (Figure 3.1). [ANB monographie des grands barrages (Barrage DE BAKHADDA)].



lieu dit la pompe a été abandonnée par la suite.

- **En 1921** : les délégations financières Algériennes adoptent un programme de grands travaux s'échelonnant sur les 16 ans et comprenant en particulier la construction d'un barrage sur la MINA.
- **En 1923** : des considérations topographiques amènent à choisir l'emplacement actuel au lieu BAKHADDA 25 km de Tiaret.



la notice
trop
dante et
de gré

miocène reposant sur une assise de marnes oligocènes, structure favorable à la construction du barrage en poids.

Le concours pour la construction d'un barrage, ouvert en janvier 1927 laisse cependant toute l'altitude aux concurrents pour le type d'ouvrage à proposer

Des doutes commençants à apparaître sur la qualité des terrains de la fondation, les projets d'ouvrage en béton armé ou non sont éliminés.

➤ **1928-1936 : Construction**

La commission adopté définitivement le type d'ouvrage en enrochement avec masque d'étanchéité sur le parement amont (Photo (3.2)) dont l'exécution est confiée à la société des grands travaux de Marseille. Le projet prévoit alors une durée d'exécution de 45 mois.



Un plan de détail a été établi en 1930. Les travaux se poursuivaient alors sans incident majeur jusqu'en 1936

Une mise en eau provisoire, destinée à obtenir un premier tassement du massif avant la mise en œuvre du masque définitif eu lieu en 1934, les résultats furent très satisfaisants, la mise en eau définitive a été terminée en Mai 1936.

➤ **1958-1962 : Surélévation**

Dés 1945 l'idée d'une surélévation s'était fait jour : en surélevant de 5 m mètres le plan de la retenue. La capacité du réservoir serait passée de **36** à **56** millions de m³. Le massif d'enrochement étant arasé à la cote 587.25. Il suffisait théoriquement de surélever le déversoir et de le modifier de façon à ce que la lame déversant en cas de crue ne dépasse pas la hauteur de 1 mètre.

III-2-2 Liste des entreprises ayant participé à la construction de l'ouvrage

Les travaux de construction du barrage ont été exécutés sous la direction de M.M VERGNIAUD. DROUHIN .LEGALI

- ✓ la société des grands travaux de Marseille pour l'entreprise générale.
- ✓ Entreprise "sondage, Etanchements, consolidation (devenue SOLETANCHE) pour les injections
- ✓ Constructions électrique de France "ALSTHOM" ESCHERWYSS et FIVES LILLE pour l'appareillage des organes de prise d'eau.

- ✓ Les travaux de surélévation ont été exécuté par : LA SOCIETE DESPLATS ET LEFEVRE
- ✓ Les études sur les modèles réduits ont été faites par : NEYRPIC

L'exploitant de ce barrage est L'Agence Nationale des Barrages (ANB) Le but actuel de ce réservoir est :

- ✓ Le stockage de l'eau d'irrigation
- ✓ L'approvisionnement en eau potable des villes Tiaret, Rehouia, Frenda et Machraa Sfa
- ✓ L'alimentation de l'industrie

III-3 L'hydrologie du bassin versant

III-3-1 Situation géographique

Le bassin versant de l'Oued Mina s'étend sur 5000 km² dans la partie occidentale de l'Atlas Tellien (photo 3. 3). Il est situé entre 0°10' et 1°10' de longitude est et entre 34°40' et 35°40' de latitude nord.

Il s'allonge sur 90 km sur les monts de Frenda au sud et ceux de la Mina au nord et sur 50 km de l'ouest à l'est entre les monts des Beni-Chougrane et le massif de l'Ouarsenis. L'Oued Mina prend sa source dans les monts de Frenda pour confluer avec l'oued Chélif après un parcours de 125 km. Deux barrages ont été construits sur cet Oued; BAKHADDA, sur le cours supérieur qui draine un sous bassin de 1280km² et Es-Saada en amont de Sidi Mhamed Benaouda avec une capacité de 237 millions de m³ (figure 3.2).

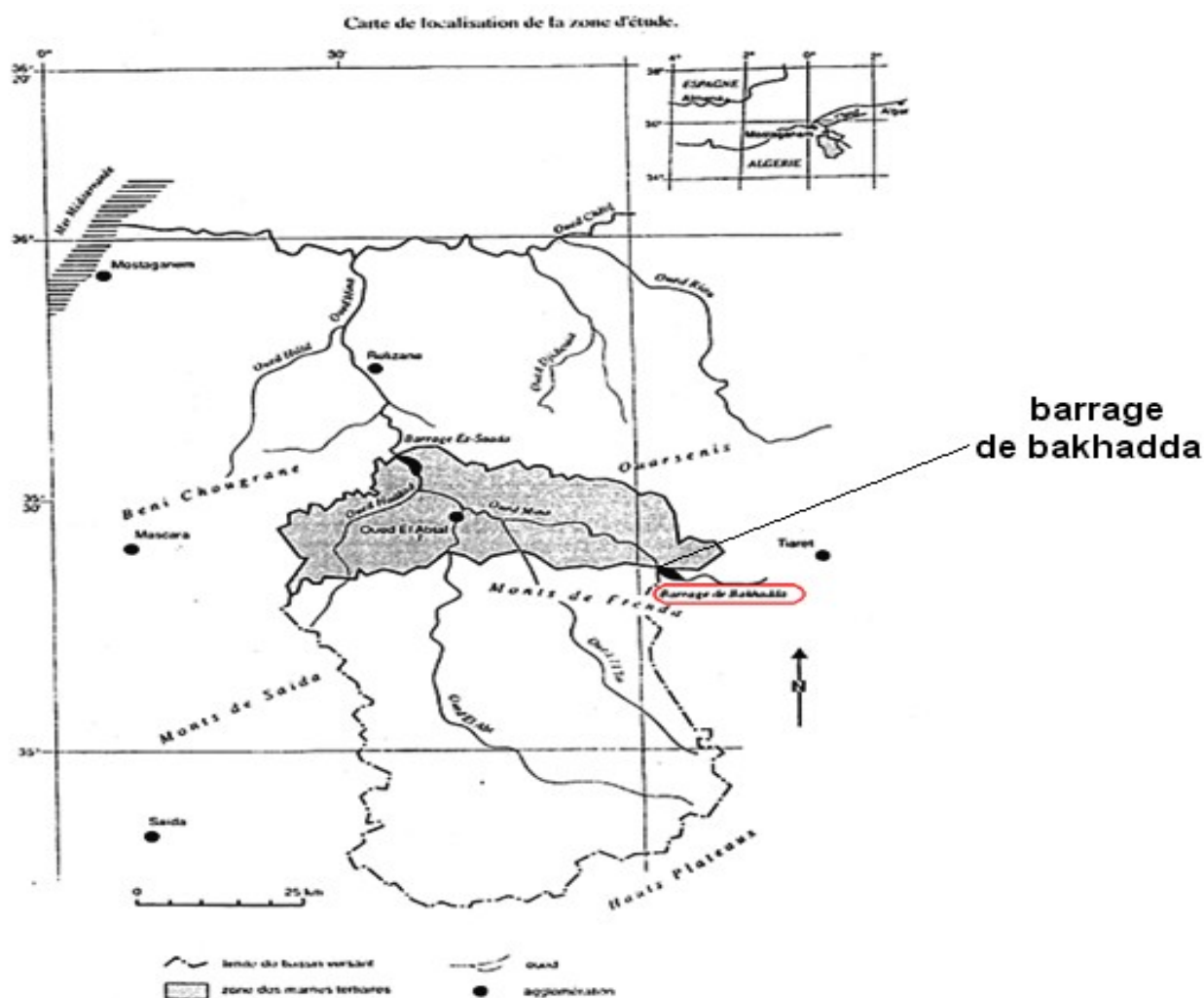


Figure (3.2): Limite du bassin versant



versant d'oued MINA

près entièrement situé dans les calcaires
ridgien et le marno-calcaires crétacés du

L'entraînement des alluvions par le ruissellement à comblé les vallées, creusées en forme de cuvettes de dissolution, d'un matériau argilo-calcaires à cailloutis anguleux ou sub-anguleux, semi-perméable, ou doivent exister de petites nappes responsables en partie de l'écoulement de base du cours d'eau, ces nappes sont alimentées latéralement par la légère perméabilité des calcaires, et surtout par celle, plus importante, des éboulis de piedmont.

On n'observe que peu de traces de ruissellement superficiel, pas d'entaille à vif, sauf quelques formations marneuses situées dans le bassin amont dans lequel la tectonique devient, d'autres part, plus vigoureuse, comme en témoigne la grande faille par laquelle la MINA franchit les belles gorges de SIDI OUALIA vers le pont de la RN14 entre MELLAKOU et TIARET. Les calcaires broyés de cette zone sont plus perméables que les formations, peu déformées, du reste du bassin, et les réserves souterraines apportent au cours d'eau un écoulement pérenne non négligeable.

III-3-2 Caractéristique physique du bassin versant

- La surface: 1280 km² ;
- Périmètre: 155 km ;
- Coefficient de compacité: $K_c = 0.28$;
- Altitude moyenne: 999 m ;
- Point culminant: 1283 m au DJEBEL ARAOUI.

III-3-3 Caractéristiques climatiques

III-3-3-1 Température

La température moyenne est d'environ 15° avec des températures extrêmes de 8° et 43°. Les moyennes mensuelles donnent une amplitude annuelle de 19° pour le bassin



ap au cours de la journée comme au cours de rapport de la tension de vapeur à la tension de nature. Photo (3.4)

vent être effectuées à partir de cinq stations INA l'amont du barrage de BAKHADDA.

es annuaires hydrologiques, la hauteur moyenne de répartition très inégale aussi bien d'une année à l'autre-depuis 1923 le minimum enregistré est 296.4 mm et le maximum 720.5 mm qu'au cours de l'année pendant le mois le plus sec juillet. Il tombe en moyenne 2 mm d'eau soit 34 fois que pendant le mois le plus arrosé décembre 68 mm.

D'après le compte rendu hebdomadaire service d'exploitation du barrage BAKHADDA la mesure de la semaine [07/03/2009. 14/03/2009] Le jour 10/03/2009

- La capacité est de 33.328 million m³
- La cote du plan d'eau est de 583.15
- Evaporation est de 0.008 hm³
- Fuite est de 0.1%=0.001hm³
- Diffluent: 0.008+0.012+0.001=0.021hm³
- AEP est de 0.012hm³

III-3-3-4 Évaporation

Évaporation moyenne mensuelle et annuelle (photo 3.5) est mesurées depuis 1952 au moyen d'un bac enterré type Colorado les moyennes en mm de 52 à 56 sont les suivantes (Tableau 3.1) :

Photo (3.5): Bac de mesure d'évaporation

Tableau (3.1) : Mesure d'évaporation annuelle du barrage BAKHADDA

Mois	Evaporation BAC Colorado mm	Evaporation plan d'eau libre mm	Cote	Surface m2	Evaporation m3
S	206	160	578.00	1 713 730	274196
O	125	97	576.00	1513250	146785

N	88	69	577.00	1570530	108366
D	64	50	578.00	1713730	85686
J	52	41	579.00	1856930	76134
F	48	37	581.50	2292630	84827
M	92	72	583.50	2682630	193149
A	118	92	584.70	2916630	268329
M	188	147	584.70	2916630	428744
J	253	197	583.50	2682630	528478
JT	332	259	582.00	2390130	619043
A	321	250	580.00	2000130	500032
TOTAL	1887	1471	-	-	3313774

L'évaporation moyenne annuelle est : 3 300 000 m³. Cette évaporation est forte et surtout irrégulière puisque les moyennes de février et juillet sont dans le rapport 1 à 7, en appliquant le coefficient de correction 0.78, Pour le plus d'eau de la retenue .on obtient une évaporation moyenne annuelle de 3,3 hm³ soit 8% de la retenue. Dans l'année 2009 la mesure de l'évaporation 0.008 hm³.

III-3-4 Les apports solides

L'évaluation du taux d'envasement se fait par comparaison du levé de la cuvette initiale de barrage BAKHADDA avec le levé fait en 1967.



Barrage BAKHADDA

20.000 m³ par an. Notons que 1 m³ de matière solide et 0.6tonne d'eau. Il est traité par des étapes :

1. En premier lieu, les vidanges de fond ont du

2. Jusqu'à la cote 581.50, l'envasement a donc

3. Le barrage a été exploité jusqu'à la cote 584.75 et depuis lors, l'envasement a du augmenter encore sensiblement.

[REMINE et all, 1997].

III-3-5 La Géologie du bassin versant

Les conditions géologiques de l'emplacement que l'on pensait connaître après la première campagne de sondages en 1923 devaient réserver des surprises importantes, les galeries d'avancement qui auraient du rester dans les "grés" tombèrent subitement de part et d'autre du puits d'attaque central dans un terrain hétérogène et remanié : argiles bariolées et plissées, blocs rocheux, poche de terre. On se trouvait en fait à la base des calcaires détritiques miocènes, au toit du complexe calcaréo-argileux précisément dans la zone où les circulations d'eaux souterraines avaient été les plus importantes.

Cette découverte aussi inattendue qu'inexpliquée fut à l'origine d'une nouvelle campagne de reconnaissance plus complète qui permit aux géologues d'arriver à la conclusion suivante :

«Les grés supérieurs représentaient une transgression de la mer cartésienne sur un continent secondaires (jurassique) depuis longtemps émergé .comprenant de haut en bas : les calcaires du séquanien, le complexe grés-marneux de l'oxfordiennes .sur la rive gauche les grés supérieurs finissaient en sifflet suivant une ligne voisine de l'emplacement du barrage et représentaient à peu près le rivage cartésien et reposaient alors sur les calcaires séquaniens.

«Sur la rive droite, les grés s'épaississaient pour former toute la berge au dessous d'eux le calcaire manquait et ils reposaient sur les grés marneux.

«Entre les grés miocènes et la série jurassique se trouvait l'assise conglomératique de la base du cartésien»

Du point de vue technique les conditions n'auraient pas été sensiblement modifiées si la partie haute du "jurassique " n'avait pas été si altérée avant le dépôt des grés supérieurs.

C'est pour quoi les ingénieurs eurent la désagréable surprise de trouver sous une roche en apparence très saine, des grés marneux fracturés et bouleversés des poches à remplissage confus des cailloutis mal cimentés et, sur la rive gauche, un calcaire très cavernueux. Il s'agissait en réalité du complexe calcaire-argileux et des calcaires détritiques de la base de miocène.

Les conséquences de cette découverte furent considérables et le coût des ouvrages s'en trouva beaucoup augmenté, recherche d'un appui convenable pour les

enrochements, au prix d'une augmentation notable de cube, extension de la carrière fondations plus copieuses des murs parafouilles, dispositif plus coûteux du vannage de fond à installer dans la galerie et enfin développement important des étanchements par injection de ciment, telles furent les modifications rendues nécessaires par la découverte des conditions lithologiques nouvelles

Le bassin versant de l'Oued Mina comprend deux parties distinctes du point de vue géologique et lithologique:

- La partie méridionale, de roches d'âge jurassique, composées de calcaires et marnes armées de nombreux bancs de calcaire et de grès, ceux-ci limitent l'incision des ravins.
- La partie septentrionale au nord de l'Oued Mina, avec une extension au sud dans la partie aval de l'Oued Haddad, est constituée de roches d'âge tertiaire (Eocène, Oligocène et Miocène), il s'agit d'épaisses masses de marnes, souvent chlorurées dans lesquelles les calcaires et les grès sont épisodiques;

Les ravinements peuvent s'y développer librement sans obstacles lithologiques. Dans le bassin versant de l'Oued Haddad les grès calcaires forment fréquemment des entablements diaclases, les eaux d'infiltration s'y concentrent et favorisent ainsi le ravinement des marnes en aval.

III-4 Le Corps Du Barrage Et les ouvrages Annexes

Le sol de fondation de l'ouvrage, constitué de calcaires très altérés, peu épais en certains points ressortant sur un complexe calcaire-argileux et sur des argiles ou s'intercalent de petits bancs gréseux était dans son ensemble très compressible et d'une compressibilité variable suivant les points. Cela rendait impossible l'établissement d'ouvrages rigides (barrage poids ou barrages à voûtes multiples) et demandait un type de barrage susceptible de subir les déformations soit digue d'enrochement à talus raides, soit une digue en terre à talus adoucis. Le premier type a été retenu pour plusieurs raisons

- Possibilité d'exploiter à proximité des carrières d'excellentes pierres ;
- Difficulté de trouver en assez grande quantité des matériaux propres à la construction d'un barrage en terre (à hauteur égale un tel type de barrage demandait un apport de matériaux deux fois et demi plus important) ; Sécurité plus grande principalement en cas de crue importante pendant la construction.
- Risque d'érosion par déversement en crête réduite.

Le barrage est enregistré avec les caractéristiques suivantes à la Commission Internationale des grands barrages.

III-4-1 Données générales

- a. propriétaire ou exploitant : République Algérienne Démocratique et populaire ;
- b. Dates du commencement et de l'achèvement du barrage : 1928-1936 ;
- c. cours d'eau et bassin fluvial oued MINA ;
- d. Destinations principales et accessoires du barrage : Irrigation de plaine de Relizane et l'alimentation en eau potable de Machraa –Sfa, Rahouia et Tiaret.

Mais actuellement le barrage BAKHADDA doit répondre à des besoins d'approvisionnement en eau potable des villes Tiaret, Rehouia, Frenda, Machraa –Sfa

III-4-2 Données hydrologiques

- Aire du bassin versant: 1280 Km²
- Précipitation annuelle moyenne (pluie ou neige): 542 mm
- Débit annuel moyen de la rivière: 1m³/s (Quotient du débit total par le nombre de secondes de l'année)

- Débit instantané de la plus forte crue connue: 1100 m³/s
- Débit naturel minimum enregistré: 35 L /s

III-4-3 Données Techniques

- ✓ Altitude de la retenue maxima: 584.75 m
- ✓ Surface de la retenue au niveau maximum: 451.6 ha
- ✓ Capacité totale et utilisable du réservoir: 46 10⁶ m³
- ✓ Type et caractéristique du barrage: en enrochement arrimés avec masque étanche en béton armé disposé sur le parement amont.
- ✓ Hauteur maxima au dessus du point le plus bas des fondations: 60 m environ
- ✓ Hauteur maxima au dessus du thalweg: 45 m
- ✓ Hauteur de la crête du barrage au dessus de la crête du déversoir: 2.50 m
- ✓ Hauteur maxima au niveau des fondations: 100 m
- ✓ Pente des parements amont et aval par rapport à la verticale amont variable de 1/1 à 0.85/1 avals 1.25/1 largeur au couronnement 5 m (route)
- ✓ Longueur au couronnement: 220 m
- ✓ matériau constitutif du corps du barrage maçonnerie cyclopéenne à pierres sèches formée de blocs divers échantillons soigneusement rangés pour que les vides soient comblés par de plus petits échantillons.
- ✓ Constitution des parements amont et aval : amont, masque de béton de 0.40 m d'épaisseur aval, enrochement arrimés
- ✓ Volume du corps de barrages: **320.000 m³**

III-5 Conclusion

Le barrage de BAKHADDA présente un fort taux d'envasement, ne répond plus aux fonctions initiales pour lesquelles il fût conçu. Son historique met en évidence l'importance vitale d'un ouvrage de retenue d'eau pour la région à caractère agricole et pastoral. L'inexistence d'autre site d'implantation pour un autre ouvrage de remplacement, ni d'autres moyens de stockage de l'eau impose la nécessité de récupération des volumes perdus par dragage.

L'étude géologique des différentes formations dans le bassin versant apporte les informations nécessaires sur la nature et le comportement prévisionnel des particules piégées dans la cuvette du barrage.

Chapitre IV

Méthodologie de valorisation des matériaux en technique
routière

Chapitre IV

Méthodologie de valorisation des matériaux en technique routière

IV-1 Introduction

Les granulats sont les matières premières les plus consommées dans le monde, l'utilisation rationnelle et le développement des matériaux dans le domaine des travaux publics constituent à l'heure actuelle une préoccupation majeure des producteurs et des utilisateurs, principalement dans les domaines de la construction. Ainsi, les objectifs visés ont pour but l'amélioration de la qualité, de la disponibilité et de la diversité des matériaux répondant aux exigences d'utilisation. Il est donc nécessaire et urgent de valoriser les matériaux de substitution, les matériaux locaux, le sédiment de dragage, les sous produits et déchets existants. Il faut aussi développer davantage les produits nouveaux et innovants.

En l'Algérie, des projets routiers et autoroutiers aux impacts socio-économiques certains sont en cours de réalisation, parmi lesquels, la réalisation de l'autoroute est-ouest de 1216 Km, la réalisation de près de 1300 Km de la rocade des Hauts Plateaux, le parachèvement de la liaison transsaharienne, le développement de la route côtière, la réalisation des 2ème, 3ème et 4ème rocades Sud d'Alger, Les efforts seront axés pour la clôture des projets qui s'inscrivent dans le programme de désenclavement des régions des Hauts Plateaux et du Grand Sud. Le marché du Bâtiment et Travaux Public bénéficie d'une très forte croissance entretenue par plusieurs plans gouvernementaux d'investissements publics. Les besoins demeurent élevés pour les années à venir, notamment en matière de construction des projets d'infrastructures (aéroport et métro d'Alger, autoroute Est-ouest, réfection des réseaux de transports). A long terme, le Ministère des Travaux Publics compte lancer la construction d'ici 2025 de près de 2700 km de voies autoroutières ou expresses.

Dans le 4ème Colloque International "Sable et Environnement Solutions Alternatives", Alger 2007, Les communications, présentées par des experts et des spécialistes du domaine, ont porté sur les besoins en matériaux, les études préalables à l'exploitation des gisements marins, la législation et la réglementation du sable de mer et les procédés techniques de valorisation des sédiments de dragage.

Dans ce chapitre, on présente La méthodologie générale de valorisation des sédiments qui a pour but d'utiliser ces sédiments dans une formulation de matériau routier. Les démarches de valorisation envisagée, s'appuie sur des choix de préparation et de formulation simples, Afin de permettre un emploi efficace des sédiments dans une structure de chaussée.

IV-2 Définition de la Structure De Chaussée

La structure d'une chaussée routière est composée de plusieurs couches superposées, dont généralement seule celle sur laquelle circulent les véhicules est visible. Mais en fait, jusqu'à quatre couches il y a une couche intermédiaire dite «couche de forme» qui transmettent les efforts induits par le trafic jusqu'au sol support. [Dictionnaire de l'entretien routier, M.E.L.T.T France 1996]

Au sens géométrique: du terme c'est la surface aménagée de la route, sur laquelle circulent normalement les véhicules.

Au sens structural: Structures multicouches, elle est l'ensemble des couches de matériaux disposés sur le terrain préparé et devant supporter la circulation des véhicules. Elle comprend les largeurs des différentes couches.

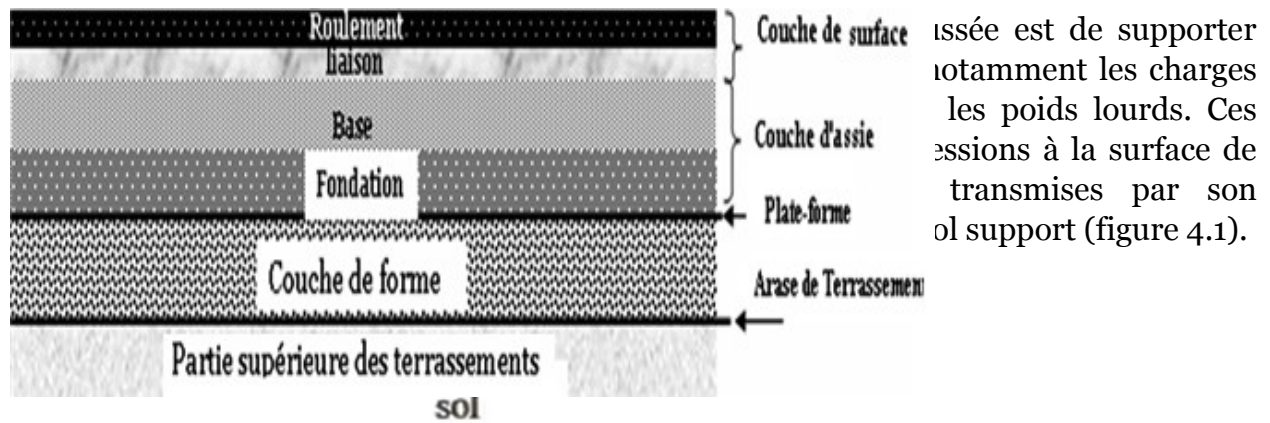


Figure (4.1) : La Pression exercée par les pneumatiques sur la chaussée.

Le sol support est surmonté par une couche de forme. C'est la couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée mais le choix de cette couche de forme se fait essentiellement en fonction des impératifs de chantier. Cette couche peut être constituée de matériaux en place ou rapportés, traités ou non traités. L'ensemble sol-support et couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée (Figure 4.2).

Figure (4.2) : Description des couches de chaussées.

La couche de forme joue, suivant les cas, un ou plusieurs des rôles suivants :

- ✓ pendant la phase des travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée (Réglage convenable des couches de chaussée).
- ✓ vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes (homogénéisation de la portance du support qui permet donc de concevoir des chaussées d'épaisseurs constantes) et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place (amélioration de la portance) ainsi que les protéger du gel (Protection des sols contre les intempéries, les effets thermiques).

Ensuite, la Couche d'assise, ensemble des couches de fondation et de base qui peuvent être confondues en une seule couche. Ancien terme utilisé dans la nomenclature routière de 1957, corps de chaussée. En matériaux élaborés apporte la résistance liaison mécanique aux charges verticales, répartissant les pressions sur la plate-forme afin de limiter les déformations à ce niveau au seuil.

Finalement, la Couche de surface se compose la couche de roulement qui assure les fonctions d'adhérence avec les pneumatiques, elle doit résister aux actions directes




- 1) limat et protéger (par imperméabilisation) le corps de chaussée. Le cas
- 2) couche de liaison s'interpose entre la surface et l'assise, elle peut être
- 3) dispositifs visant à limiter la remontée des fissures de retrait des assises

Types de structures des chaussées

Selon la nature des matériaux utilisés dans les couches de chaussées, on distingue six grandes familles de structure [SETRA et LCPC Guidoux et François1998], elles sont les suivantes (Tableau 4.1) :

Tableau (4.1) : Les différents types de structures des chaussées.

Type de chaussées	Caractéristiques	Structure de chaussées
Chaussées souples	Structure de très faible rigidité, fortement dépendante de celle du sol et de ses variations, les efforts verticaux sont transmis au support avec une faible diffusion latérale. Les matériaux utilisés dans la structure sont. Les graves bitumes, grave non traitée (GNT).	<ul style="list-style-type: none"> 1) Couche de surface en matériaux bitumineux. 2) matériaux bitumineux d'assise \leq 15cm 3) matériaux granulaires non traités (20 à 50 cm). 4) plate-forme support.
Chaussées bitumineuses épaisses	Structure comportant une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traité aux liants hydrocarbonés, faite d'une ou de deux couches (base et fondation).	<ul style="list-style-type: none"> 1) Couche de surface en matériaux bitumineux; 2) Matériaux bitumineux d'assise (15 à 40cm); 3) Plate-forme support.
Chaussées semi-rigides	Elles comportent une couche de roulement bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposée en une ou deux couches dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm.	<ul style="list-style-type: none"> 1) Couche de surface en matériaux bitumineux (6 à 14cm); 2) Matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 50cm) 3) Plate-forme support.

	<p>1) Structure comportant une couche de béton 2) de ciment de 15 à 40 cm, recouverte par un 3) béton bitumineux très mince (BBTM), 4) reposant soit sur une fondation, soit 5) directement sur le support sur béton bitumineux (BB). Les matériaux utilisés ont le béton armé continu (BAC) avec des fers ronds.</p>	<p>1) Dalle ou béton armé continu; 2) Béton maigre ou béton bitumineux; 3) Plate-forme support.</p>
<p>Chaussées à structure mixte</p>	<p>Structure comportant une couche de roulement et de base en matériaux bitumineux d'une vingtaine de cm, sur une fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. Pour être désignée comme Mixte l'épaisseur totale doit être de l'ordre de 0.5.</p>	<p>1) Couche de surface en matériaux bitumineux; 2) Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20cm); 3) Matériaux traités aux liants hydrauliques ; 4) Plate-forme support.</p>
<p>Chaussées à structure inverse</p>	<p>Structure associant une structure bitumineuse et semi rigide dont l'interface est constitué de grave non traité destinée à empêcher la remontée des fissures transversales de retrait , Les matériaux utilisés dans la structures inverse sont: Grave non traité, grave bitume et grave traite aux liants hydrauliques.</p>	<p>1) Couche de surface en matériaux bitumineux; 2) Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20cm) ; 3) Matériaux granulaires non traite (environ 12cm); 4) Matériaux traités aux liants hydrauliques (15 à 50cm); 5) Plate-forme support.</p>

IV-4 Description Des Matériaux De Chaussée

Dans ce chapitre regroupant les différents matériaux de chaussée, dont, on décrit les éléments de définition et de comportement communs propres à chaque matériau.

IV-4-1 Matériaux définis par des normes

Pour les matériaux de chaussée couverts par des normes, on fait un bref rappel des prescriptions se rapportant aux constituants et au mélange.

IV-4-1-1 Matériau rocheux classe R (NF P 11-300)

Matériau naturel, comportant une structure qui ne peut être désagrégée par simple trituration, ou par l'action d'un courant d'eau. Leur utilisation implique une désagrégation mécanique préalable par minage ou emploi d'engin d'extraction de forte puissance. Les matériaux rocheux sont distingués à de grandes familles:

1. Les matériaux rocheux issus des roches magmatiques et métamorphiques.
2. Les matériaux rocheux issus des roches sédimentaires (tel que les roches argileuses, roches carbonatées et roches siliceuses.)

IV-4-1-2 Matériau rocheux évolutif

dont les paramètres de nature, de comportement mécanique et/ou d'état, changent notablement au cours des opérations d'extraction, de transport, de réglage et de compactage et/ou dans le temps pour les matériaux en contact avec les agents météorologiques (air, eau, gel, dégel).

IV 4-1-3 Hérisson:

Ensemble de grosses pierres disposées à la main sur chant et calées entre elles par des éclats de pierre, constituant une couche de chaussée.

IV 4-1-4 Macadam:

Ensemble de pierres cassées, de granularité serrée, constituant une couche de chaussée de faible épaisseur, Pour faciliter le compactage, on utilisait parfois un apport de sable argileux très mouillé, Pour améliorer le produit on faisait aussi parfois appel à des techniques de pénétration ou de percolation. Dans la première moitié de ce siècle, la plupart des chaussées françaises comprenaient une couche de base en macadam qui reposait sur un hérisson en grosses pierres cassées (Figure 4.3).

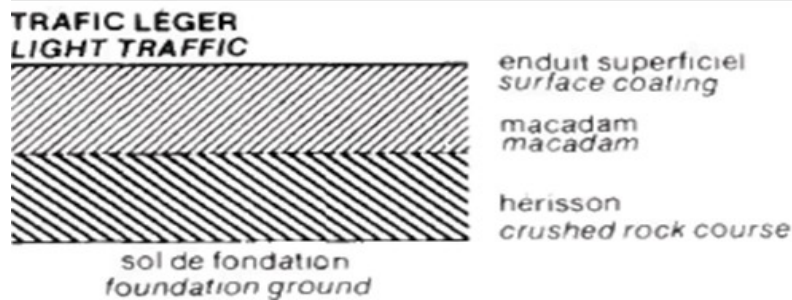


Figure (4.3): utilisation de Macadam et hérisson En corps de chausse

Pour caractériser un massif rocheux en vue de son emploi en remblai ou en couche de forme, on procède successivement en deux étapes :

1. Identification de la nature pétrographique de la roche ;
2. Détermination des paramètres d'état et des caractéristiques mécaniques du matériau.

IV 4-2 Les Familles de granulats (NF.98 114)

Les granulats sont identifiés par la bonne livraison, par leur origine, leur nature pétrographique selon, leur angularité.

- a. **Fillers:** 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm.
- b. **Sables:** 0/D où $1 < D \leq 6,3$ mm, Les sables ont en outre 65 % des éléments supérieurs à 80 microns mètre. Ils peuvent être naturels ou issus d'une chaîne d'élaboration (sables roulés résultant du criblage primaire d'un tout-venant, ou sable de concassage). Ils se différencient par un grand nombre de paramètres : Granularité, Composition minéralogique et forme des grains et, Caractéristique des fines, on désigne plusieurs types de sables :

- **Sable ciment:** Sable traité au ciment.
- **Sable enrobé:** Enrobé destiné à retarder la remontée des fissures et constitué d'un mélange à chaud de sable de granularité 0/3 à 0/6.
- **Sable bitume SB:** Produit de sable avec de bitume non normalisé utilisé pour la réalisation d'assises de chaussées.
- **Sable traité aux liants hydrauliques STLH:** Sable traité au ciment, au laitier ou à un mélange cendres volantes + chaux, afin d'améliorer la stabilité immédiate (aptitude à supporter les opérations de mise en œuvre, notamment le passage des engins de compactage), et les performances mécaniques (aptitude à résister aux sollicitations du trafic). (Photo 4.1)



ndation en sable traité [M. A. DESTOMBES 2003]

s types :

uvent dans une centrale de malaxage,

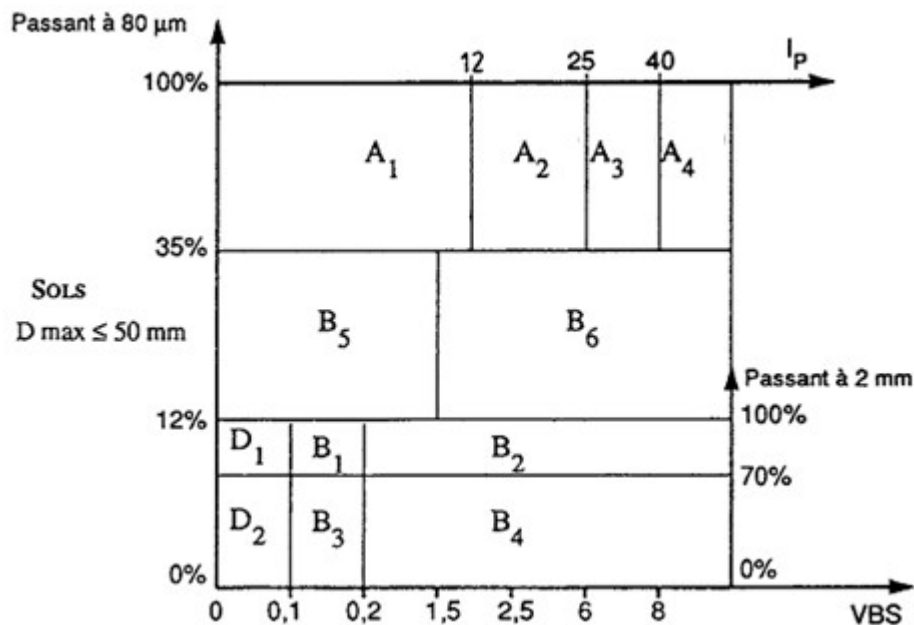
mais parfois sur place, au pulvérisateur mélangeur.

- **Grave maigre:** Grave dans laquelle la proportion de particules fines est insuffisante pour donner de la plasticité à son mortier.
- **Grave non traitée:** Mélange de granulats naturels ou artificiels, à granularité continue, de cailloux, de graviers et de sable, avec parfois addition de particules plus fines pour une bonne tenue de l'assise.
- **Grave-ciment:** Mélange de granulats, de ciment, éventuellement de retardateur de prise et d'eau, fabriqué en centrale. Elle est utilisée dans la confection des assises de chaussées et des plates-formes de travaux routiers.
- **Grave cendres volantes-chaux:** Mélange de granulats, de cendres volantes silico- alumineuses, de chaux et d'eau, fabriqué en centrale. Elle est utilisée dans la confection des assises de chaussées et des plates-formes de travaux routiers.
- **Grave bitume:** Enrobé préparé à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats (éventuellement de dopes) et/ou d'additifs minéraux ou organiques, dosés, chauffés et malaxés dans une installation appelée centrale d'enrobage. il est destiné à la réalisation des assises dans le cadre de travaux neufs ou de renforcements de chaussées. On distingue les GB 0/14 et les GB 0/20.
- **Grave liant spécial routier:** Mélange de granulats, de liant spécial (hydraulique), éventuellement de retardateur de prise et d'eau, fabriqué en centrale. Elle est utilisée dans la confection des assises de chaussées et des plates-formes de travaux routiers.
- **Grave cendres volantes hydrauliques:** Mélange de granulats, de cendres volantes hydrauliques, éventuellement de retardateur de prise, et d'eau, fabriqué en centrale. Elle est utilisée dans la confection des assises de chaussées et des plates-formes de travaux routiers.
- **Grave-Pouzzolanes-Chaux:** Mélange de granulats, de pouzzolanes, de chaux et d'eaux, fabriquées en centrale. Elle est utilisée dans la confection des assises de chaussées et des plates-formes de travaux routiers.
- **Gravillons:** d/D où $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm, Gravillon concassé: Classe granulaire normalisée produite par les carrières ou par les ballastières d/D où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm (gravillon roulé ou concassé),

IV 4-3 Matériaux hors normes

Les conditions économiques et les ressources locales peuvent conduire à rechercher l'emploi de matériaux non codifiés par une norme ou dont l'une au moins des caractéristiques n'est pas en conformité avec les exigences des normes, ce sont notamment.

- sables ou sols provenant de gisements naturels et non élaborés,



industriels, matériaux de

vent faire l'objet d'une
s mécaniques. L'étude
ctéristiques physiques
de mise en œuvre. La
nce aux catégories de
la composition et du

upe depuis un certain
rises. La tradition du
uver des granulats en

ges dans le cadre du

« Développement durable » tel que :

- Épargner les gisements de matériaux naturels (contribuer aux économies des matériaux traditionnels).
- Préserver le cadre de vie par la réduction du volume de sédiments de dragage et les décharges (Contribuer à la protection de l'environnement en fournissant un débouché à ces déchets et sous-produits, évitant ainsi leur mise en dépôt).
- Gain en transport par la réutilisation de « Matériaux environnants ».

On cite quelques exemples des matériaux recyclés utilisés en technique routière, en France, [ROLAND 2001], Pour la réalisation des chantiers routiers, environ 1,3 million de tonnes /an de cendres volantes de houille (silico-alumineuses), dont une grande part sert de matériau de remblai.

B. Bournonville a détaillé le procédé de la valorisation de cendres volante dans la construction d'une route de démonstration à Dombasle (photo4.2), dans l'Est de la France. Énoncer dans la thèse de J.E. Aubert [AUBERT 2002].



etc.), leur comportement.

IV 4-3-2-1 Les paramètre Physico-chimique de classification des sols

Les différentes fractions du sol sont classées à partir de la norme NF P 11-300 et les guides techniques «GTR, GTS» et pour la réalisation des remblais et des couches de forme [SETRA et LCPC 2000]. Figure (4.4)

Figure (4.4) : Classification des matériaux selon la norme NF P11-300, GTR 2000

- Classe A Sols fins,
- Classe B Sols sableux et graveleux avec fines ,
- Classe D Sols insensibles à l'eau.

Les sols sont classés d'après leur nature, leur état et leur comportement mécanique des sédiments. Ils sont classés suivant les paramètres ci-dessous :

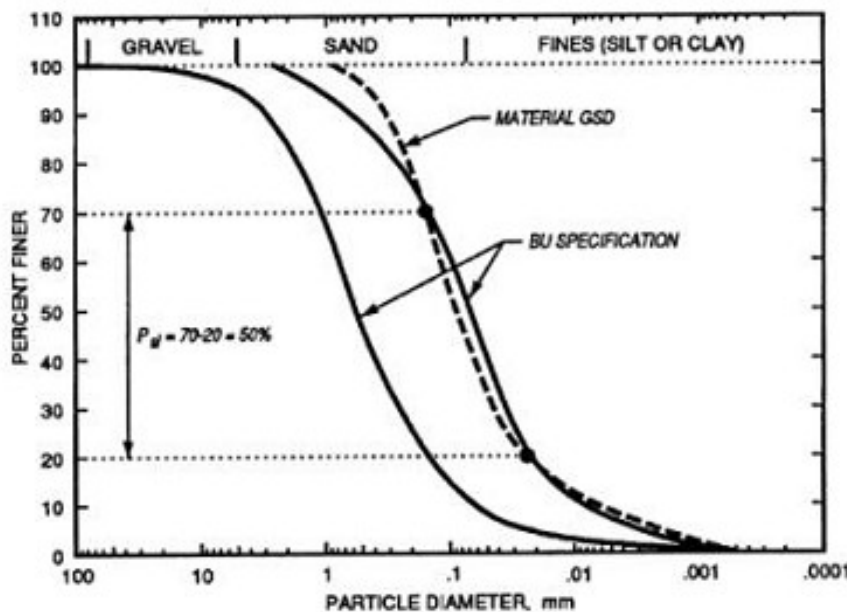
➤ **La granularité:** est déterminée par l'analyse granulométrique et plus particulièrement par le D_{max} , le tamisât à $80 \mu m$, et le coefficient d'uniformité C_u .

➤ **Le D_{max} :** Pour permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux ($D_{max} \leq 50 \text{ mm}$), des sols grossiers comportant des éléments blocailleux ($D_{max} > 50 \text{ mm}$), et ainsi pour distinguer les sols pouvant être malaxés intimement avec un liant et pour évaluer l'épaisseur des couches élémentaires. C'est un paramètre important à connaître pour apprécier la validité des essais de laboratoire.

➤ **Le tamisât à $80 \mu m$:** Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines des sols sableux et graveleux, et dans une large mesure d'évaluer leur degré de sensibilité à l'eau. Qui permet d'orienter en grande partie le choix du produit du traitement, Le tamisât à 2 mm permet lui, de séparer les sols à tendance sableuse d'une tendance graveleuse.

➤ **Le coefficient d'uniformité de HAZEN :** $C_u = D_{60} / D_{10}$ cette caractéristique pour l'étalement de la granulométrie ($C_u < 2$: granulométrie uniforme, $C_u > 2$ étalée) et aussi ce coefficient donne des informations qualitatives sur les valeurs des dosages qui seront nécessaires pour atteindre le niveau de résistance visé. Pour être réutilisé en tant que sol support, remblai, couche de structure, un matériau à distribution granulométrique étalée est conseillé.

L'étude de [OLIN ESTES et PALERMO 2001] est basée sur la démarche suivante : comparer la distribution granulométrique d'un matériau étudié à un fuseau granulométrique idéal. Ainsi, on visualise le potentiel de réutilisation du matériau et l'on peut choisir les apports nécessaires à l'obtention d'un matériau idéal (Figure 4.5).



t Palermo, 2001]

siste à mettre au point un

ité et la valeur au bleu de la classification de sol et t le choix du produit de s la chaux ne s'impose au

ies surtout présentes en e traitement et diminuent Routier (GTR) permet de classe correspondant aux

IV 4-3-2-2 Les Paramètres de comportement mécanique du sol

L'état hydrique est très important pour le déroulement de l'ensemble du processus de traitement. Il influe sur le choix des produits de traitement, leur dosage, leur prise et sur les conditions de mise en œuvre.

Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique La présente classification a retenu pour caractériser l'état hydrique d'un sol, l'un ou l'autre des trois paramètres suivants :

- l'indice de consistance I_c : la position de sa teneur en eau naturelle (W_n) par rapport à ses limites d'Atterberg (W_L et W_P),
- l'indice portant immédiat (IPI) du sol à sa teneur en eau naturelle qui exprime la valeur du poinçonnement CBR mesurée sans surcharges ni

immersion sur une éprouvette de sol compacté à l'énergie Proctor Normal ou modifier (Tableau 4.2).

Tableau (4.2): Indice portant immédiat (IPI) minimal à obtenir à la mise en œuvre (GTS 2000, NF98-115)

Classe de matériaux	IPI minimal
	10
	15
	20
Autres classes	À fixer d'après l'expérience ou à déterminer à l'appui d'une étude spécifique

L'expérience du Centre d'expérimentation routière (CER), confirmée par de nombreux chantiers, montre qu'il est souvent difficile d'obtenir une bonne densité de fond de couche pour les couches de forme épaisses en sols fins traités.

C'est pour ça, la possibilité d'obtenir un taux de compactage en fond de couche suffisant soit vérifiée (objectif $\geq 98\%$ de ρ_{dOPN} en moyenne pour assurer 96 % au minimum).

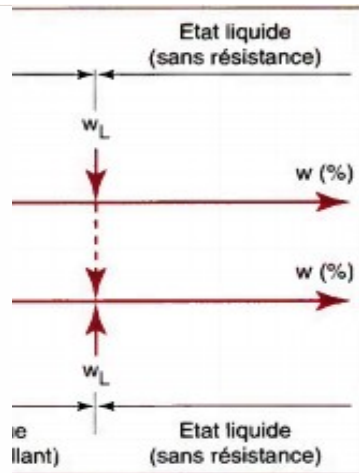
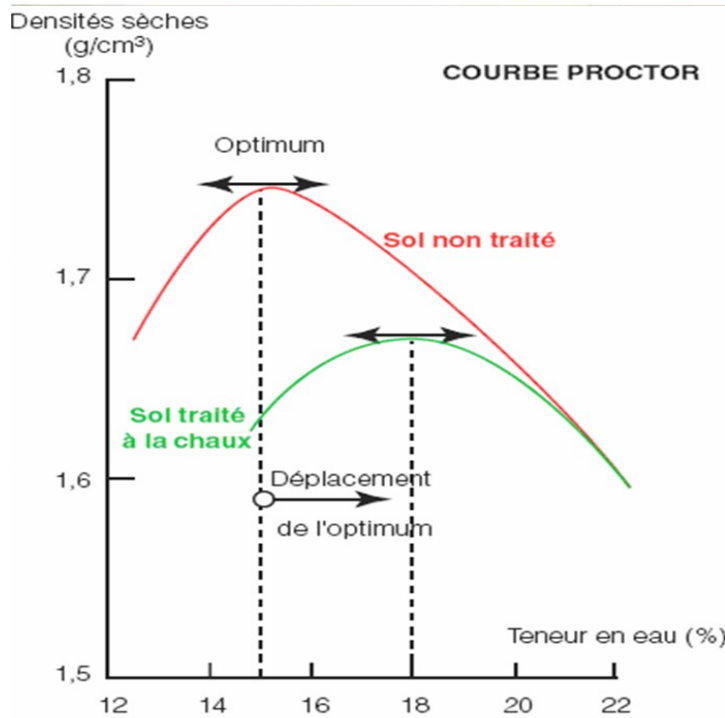
IV 5 Valorisation des Sédiments de dragage dans la structure de chaussée

Le choix des matériaux issus du dragage doit satisfaire à la fois la conformité réglementaire, les conditions environnementales, la meilleure technique disponible et un coût économiquement acceptable. Actuellement, la gestion des sédiments s'oriente vers la valorisation plutôt que l'immersion et le dépôt. La valorisation peut intéresser plusieurs domaines tels que le génie civil, en particulier en technique routière.

Bien qu'il n'existe pas de cadre législatif Algérien spécifique à l'utilisation des sous-produits industriels, ou d'autres produits présentant une structure argileuse à l'état vaseux ou solide, il est souvent fait recours à la réglementation française ou européenne dans le cadre des recherches sur leur valorisation. Pour cela la valorisation des sédiments de dragage en technique routière doit satisfaire plusieurs critères.

IV 5-1 Principes et techniques utilisées pour traiter les sédiments

Aujourd'hui la technique du traitement à la chaux, au ciment ou au liant hydraulique routier s'étend à un nombre de plus en plus élevé de sols : limons, argiles, marnes, matériaux sableux, sableux-graveleux et graveleux etc. qui connaît un grand développement depuis une vingtaine d'années. Le traitement des sédiments pour l'exécution des couches de chaussée, à pour objet de rendre utilisable un sédiment qui



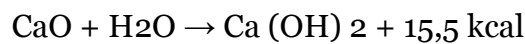
supportées
ns notables
gonflent et

t les liants
ciant, il est
riposant est

argileux ou

V) Figure (4.6) (la teneur en eau d'un
sée en raison de contribution de
l'eau nécessaire à hydratation de la
la chaleur dégagée par la réaction
tion de W d'un sol traité est de l'ordre

de 1 à 2 % pour 1% de chaux [GTS 2000] Au contact de l'eau, la chaux vive s'hydrate pour donner des chaux éteintes selon la réaction :



2. L'incorporation de chaux dans un sol argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation, l'incidence de ces réactions sur le mélange sol chaux est :
 - a. Une diminution de l'indice de plasticité IP,
 - b. Une augmentation de l'indice portant immédiat IPI.

Figure (4.6): L'influence de traitement sur le comportement d'un sol argileux humide (GTS 2000)

Des modifications immédiates des propriétés mécaniques du sol, produit un aplatissement de la courbe Proctor avec une diminution de la densité de l'optimum Proctor et augmentation de la teneur en eau optimale. (Transforme les caractéristiques de compactage du matériau). Figure (4.7) .

Figure (4.7): Influence du traitement à la chaux sur les caractéristiques d'un sol.

Le choix du type de chaux dépend de la teneur en eau du sol (Tableau (4.3) . Si le sol est trop humide, la chaux vive est recommandée, si le sol est à teneur en eau proche de celle optimale de Proctor, la chaux éteinte pourra être utilisée et si le sol est trop sec, il est possible d'utiliser le lait de chaux.

Tableau (4.3): Differentes natures de chaux (GTS 2000)

Mode d'obtention de la chaux	Composition du carbonate de base	Mélange de carbonate de calcium et de carbonate de Magnésium

	Carbonate de calcium quasiment pur	Carbonate de calcium + 15 à 20 % d'argile	
Calcination du carbonate de base	Chaux calcique aérienne vive	Chaux hydraulique	Chaux dolomitique aérienne vive
Calcination du carbonate de base puis hydratation	Chaux calcique aérienne éteinte	Chaux hydraulique éteinte	Chaux dolomitique éteinte

IV 5-2-2 Ciment ou liants hydrauliques routiers (LHR)

Le ciment et les LHR modifient de façon sensible le comportement des sols peu ou pas plastiques, grâce à deux actions distinctes:

- Des modifications immédiates et à long terme des propriétés géotechniques et mécaniques du sol. Les réactions du ciment et du LHR avec un sol consistent essentiellement en une hydratation des silicates et aluminates de calcium anhydres avec passage par la phase soluté suivi de la cristallisation des produits hydratés, c'est la prise hydraulique.
- La teneur en eau d'un mélange sol –ciment ou sol –LHR se trouve abaissée en raison de : (l'apport de matériaux sec, la consommation de l'eau nécessaire à la prise hydraulique du ciment ou LHR, l'évaporation de l'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation. En revanche, on ne note pas de modifications importantes de la courbe Proctor.

Le ciment le plus courant est le Ciment Portland Artificiel (Tableau 4 .4) , que l'on nomme CEM I, issu d'un mélange de calcaire et d'argile. Il est constitué principalement de 50 à 70 % de silicate tricalcique (3CaO SiO_2 ou C_3S), de 10 à 25 % de silicate bicalcique (2CaO SiO_2 ou C_2S), de 5 à 15 % d'aluminate tricalcique ($3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A), de 5 à 10 % d'aluminoferrite tétracalcique ($4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF). On trouve aussi, en très faibles quantités de la chaux libre (CaO) et des sulfates de sodium et de potassium (Na_2SO_4 et K_2SO_4) [MOSZKOWICZ et BARNA 2001].

Tableau (4.4): Adéquation des ciments avec différents types de sols (GTS 2000)

Type de sols		CPJ – CEM II/A	CHF – CEM III
	CPA –CEM I	CPJ – CEM II/B	CLK – CEM III
			CLC – CEM V
Sols pas ou peu argileux (Classes A1. B1 à B5 . D1)			
Sols argileux prétraités à la chaux (Classes A2. A3 . B6)			

Sols calcaire et marno- calcaires (Classes R2)			
Craies (Classes R1)			

IV 5-3 critères et principe de formulation associés à la construction de la chaussée

Les critères et les études de formulation aboutissant à la détermination du produit de traitement et de son dosage permettant d'obtenir le niveau de performances mécaniques recherché.

✍ l'indice portant immédiat IPI, est en général le paramètre à privilégier pour caractériser les états (h) et (th) car il traduit concrètement les difficultés de circulation des engins c'est-à-dire caractérisé l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins de chantier, Selon [GTR 2000, NF98-115].

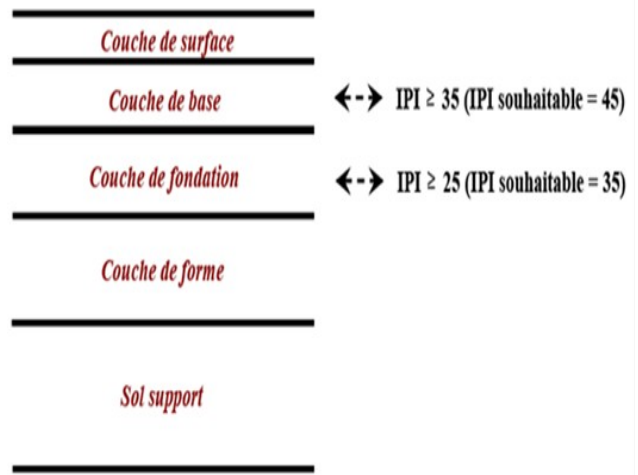


Photo (4.3): Comportement à la mise en remblais

Figure (4.8): Critère d'IPI pour la différente couche de la chaussée

Tableau (4.5): Détails du critère d'IPI pour la couche de base et couche de fondation

IPI	Valeur moyenne	Valeur minimum
Couche de base		35
Couche de fondation		25

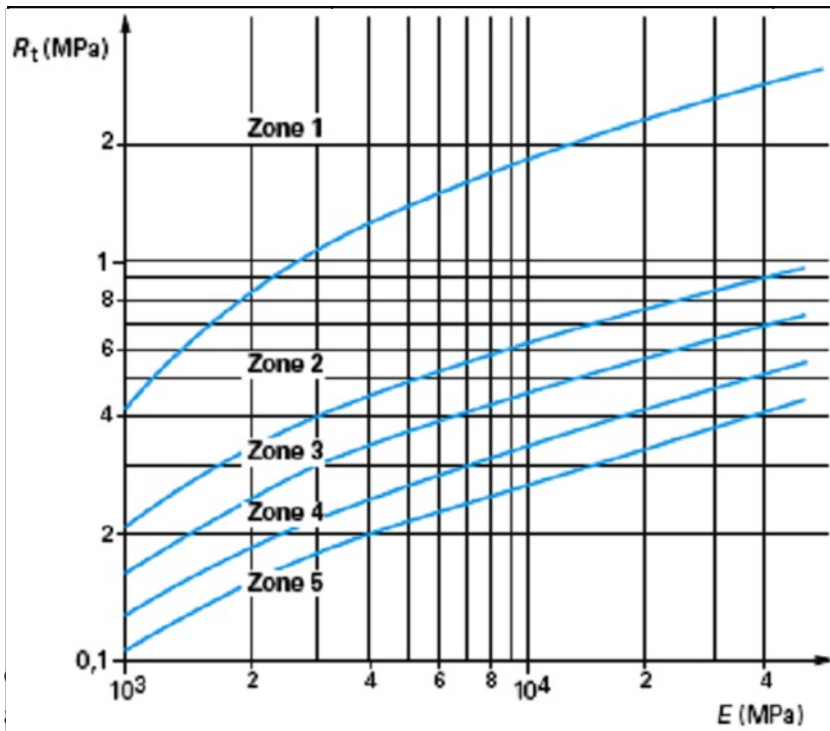
Pour les chantiers sous circulation, si l' IPI présente les valeurs moyennes suivantes, la mise en œuvre est possible : On admet Tableau (4.5) et Figure (4.8)

- $IPI \geq 50$: Pas de difficultés particulières à la mise en œuvre
- $25 \leq IPI < 50$: la possibilité de la mise en œuvre est vérifiée au début du chantier
- $IPI < 25$: une étude spécifique est nécessaire montrant la possibilité de mise en œuvre

✍ Evaluation de l'aptitude du sol au traitement: Elle se fait à partir de l'essai décrit dans la norme NF P 94-100, la détermination du gonflement volumique G_v : c'est La première étape de l'étude consiste à vérifier l'aptitude du sol au traitement et la deuxième étapes, on détermine E , R_t , R_{tb} (Tableau 4.6), Le module d'élasticité E , La résistance à traction directe et la résistance de traction à partir d'un essai de compression diamétrale et ainsi Ils sont déterminées pour caractériser le comportement à long terme et dimensionner la structure de chaussées.

Tableau (4.6): Critères retenus pour l'interprétation de l'essai d'aptitude d'un sol au traitement

Aptitude du matériau	Gonflement volume		Résistance



ment peut être justifiée par

ut être à priori appliquée.

d'un essai de compression
d'un essai de traction directe
reportées sur le diagramme

de classification afin d'évaluer la stabilité du matériau. Le GTS [guide Setra/LCPC] a cité les 5 classes de S1 à S5 (Figure 4.9). Le graphique ci-dessous présente les différentes classes de matériaux en fonction du couple (R_t, E).

L'objectif d'un traitement étant d'atteindre la meilleure classe mécanique possible, c'est-à-dire la plus proche de la zone 1. Le traitement idéal aurait un couple (R_t, E) tel que R_t augmente fortement dès le début du traitement pour atteindre une bonne classe mécanique et un module E qui augmente très doucement ce qui évite de redescendre de classe mécanique. [MECHAYMECH Ahmad 2002]

Figure (4.9): Zone de classement des matériaux en fonction de sa résistance à la traction R_t et de son module d'élasticité E

D'après [G.T.R.R.S.DP 2006], il est recommandé une classe minimale zone 4, pour les couches d'assises.

✍ **Rc** : Résistance à la compression simple (sur éprouvettes d'éclatement 2) [NF 98-232-1] est pour l'évaluation de la résistance mécanique des sols traités avec des liants hydrauliques, c'est-à-dire pour caractériser le comportement à court terme.

Dans le domaine routier, l'utilisation des matériaux à base de liant hydraulique, nécessite une étude mécanique complète afin de maîtriser au mieux le matériau mis en place [Voirin et al, 2001].

Tableau (4.7): Récapitulatif des essais et des exigences et/ou des critères de jugement pour l'utilisation d'un matériau traité en couche de forme

Propriété considérée	Grandeur caractéristique	Exigence ou critère de jugement
Aptitude au traitement Gonflement	Gonflement volumique Gv d'éprouvettes immergées pendant 7 jours dans de l'eau à 40°C	Gv %5 : adapté 5 Gv % 10 : douteux Gv 10 % : inadapté
Aptitude au traitement : Performance mécanique	Résistance en traction brésilienne Rtb d'éprouvettes immergées pendant 7 jours dans de l'eau à 40°C	Rtb 0,2 MPa : adapté 0,2 MPa Rtb 0,1 MPa : douteux Rtb 0,1 MPa : inadapté
Portance et durabilité	Poinçonnement immédiat (IPI) et après 4j d'immersion (ICBR) sur une éprouvette compactée dans un moule CBR	ICBR / IP 1
Gonflement de la couche traitée	Mesure du gonflement vertical lors de l'immersion pendant 4 jours de l'essai CBR	Comparatif entre les différents liants
Cinétique de prise	Evolution de la résistance en compression Rc jusqu'à 90 jours de maturation	Comparatif entre les différents liants

Age autorisant la circulation sur la couche traitée	Résistance en compression Rc	La couche de forme peut être circulée dès que Rc 1 MPa
Résistance à l'immersion au jeune âge	Rc à 60 jours de maturation normale (Rc60) Rc après 28 jours de cure normale suivis de 32 jours d'immersion totale dans de l'eau à 20°C (Rci)	Pour un sol dont le VBS est inférieur à 0,5 : Rci/Rc60 0,8
Résistance au gel	Résistance en compression Rc Rapport moyen entre les résistances en compression et en traction à 28 et 90 jours Kc/t	La résistance au gel est jugée satisfaisante si Rc à l'âge correspondant à l'apparition probable du gel est supérieure à
Performances Mécaniques	Résistance en traction Rt (estimée à partir de la résistance en traction brésilienne Rtb) et module élastique E à 28 et 90 jours	Le couple (Rt, E) conduit au minimum à un matériau de classe mécanique 5

IV5-4 synthèses des recherches récentes dans la valorisation des sédiments de dragage

TRAN NGOC 2009 a étudié la valorisation des sédiments marins et fluviaux en technique routière par :

- a. la correction des courbes granulométriques par (sable de dragage et sable du Boulonnais
- b. des traitements au ciment et/ou la chaux pour améliorer leurs performances mécaniques, «les performances mécaniques des sédiments étudiés vis-à-vis des contraintes imposées pour une utilisation en technique routière», Les formulations des mélanges développés remplissent les conditions d'utilisation en couches d'assise de chaussées sur le plan mécanique.
- c. Il a utilisé des modèles de comportement pour comparer des épaisseurs de couches obtenue en comparaison d'une structure de chaussées types avec des matériaux standards.

Au Etats Unis, les solutions de traitement des sols sont principalement basées sur des mélanges avec de la chaux, à la différence des pays européens qui utilisent couramment les liants hydrauliques. L'utilisation de la chaux est très conforme à la technique française. L'objectif est de mélanger le matériau à traiter avec un dosage de chaux de 3 à 6 % approprié pour améliorer ces caractéristiques mécaniques du sol humide, que se soit pour une utilisation temporaire en piste de chantier ou pour la couche de forme de la structure routière à construire. [The National Lime Association 2004]

SCORDIA 2008 a étudié la caractérisation et la valorisation de sédiments fluviaux pollués et les méthodes de traitement dans les matériaux routiers par le procédé de NOVOSOL® ,développé par la société Solvay qui combine une technique de traitement

chimique (phosphatation) et thermique(calcination) de ces sédiments, Le but de ce travail est d'étudier Plusieurs voies : fabrication de blocs comprimés, incorporation ou substitution de matière dans les matériaux à matrices cimentaires (bétons et mortiers) et les briques cuites . D'après les résultats des essais réalisés de formulation portant sur 5 liants différents a été menée. Il s'agit de 3 Liants Hydrauliques Routiers (LHR) produits par la société Holcim (Roc As, Roc SC et Roc Sol), un ciment CEM II 32,5 et de la chaux vive. Il trouve que deux se distinguent particulièrement par leur bon comportement mécanique : il s'agit du Roc Sol et de la chaux. Ce sont les seuls dont les performances à 90 jours permettent de se situer en Zone 3 dans l'abaque de classement du GTS. En ce qui concerne le traitement au ciment CEM II 32,5, il se situe en Zone 4 à 90 jours mais la courbe d'évolution de sa résistance en compression laisse prévoir un accroissement de ses performances à plus long terme.

SEMCHA 2006 a établi une étude sur La valorisation de la vase prélevée dans la zone de rejet sur Oued EL Hammam en aval du barrage FERGOUG, ainsi que dans la région de la MACTA, stabilisée au ciment dans les conditions particulières de température, d'humidité et de pression, son étude a donne des résistances à la compression comparables à celles de la brique silico-calcaire, ayant abouti aux performances mesurées expérimentalement pour l'application dans le BTP. Le ciment composé à partir de la pouzzolane artificielle de vase calcinée s'est avéré meilleur que celui à base de pouzzolane naturelle de Béni Saf qui est en exploitations industrielle.

Le LCPC oriente actuellement sa recherche avec une opération du nom de "Nouvelles Techniques Routières". Ce programme s'articule autour de plusieurs axes : Pour améliorer les études de formulation le LCPC est en train de mettre en place un logiciel prenant en compte de nombreux paramètres, qui permette ensuite de mieux prévoir le type de liant à utiliser et le dosage correspondant en fonction des données prélevées sur le terrain.

DUBOIS 2006 a proposé une solution pour l'utilisation des sédiments marins en couche d'assise de chaussée, à travers le respect d'une méthodologie générale de valorisation, reproductible sur le plan industriel, et intéressante d'un point de vue économique. Ainsi, l'identification physique, minéralogique, chimique, et mécanique a été réalisée, afin de mieux connaître l'influence de certains paramètres et le comportement général des sédiments. Cette étude permet de fixer: le rôle important des matières organiques sur la matrice granulaire, l'utilisation du modèle Cam Clay modifié, mettre au point des matériaux traités aux liants hydrauliques à base de sédiments marins et les dosages en liants hydrauliques. La proportion de sédiments, dans les mélanges étudiés est (32-33%), avec des pourcentages en ciment de 4 à 8%, et un pourcentage en chaux maximal de 2% Les résistances mécaniques obtenues sur les différentes formulations permettent de les placer au minimum, en classe "Zone 2". Il semble que la chaux ait un effet bénéfique sur ces résistances, les résistances et le module d'élasticité augmentent de façon notable, permettant d'obtenir de meilleures classifications que certaines formulations, avec le ciment seul.

PETAVY 2007, à partir de leur travail sur les sédiments de l'assainissement pluvial a propose des solutions de gestion et de valorisation des résidus issus de l'assainissement pluvial : sédiments de bassins de retenue des eaux pluviales et balayures de voiries. Les sous produits de l'assainissement représentent, après traitement physique et biologique, à travers la conception et la réalisation d'essais pilote, une source importante de Matériaux capable de répondre aux fortes demandes de remblais.

ARMENTI et BRUANT 2008, lors de leurs travaux bibliographique sur l'étude de marché des produits de traitement pulvérulents pour l'amélioration des sols. En Hollande, le traitement de sols sableux est très répandu dans les zones portuaires. Les

sols siliceux et argileux sont généralement substitués pour l'exécution de la partie supérieure des terrassements et la couche de forme. La législation nationale sur les excavations encourage le développement de la valorisation en plate-forme des sols locaux actuellement non exploités. Un chantier test a donc été mis en place pour étudier différentes solutions de traitement. Ce chantier test mesure 8 km de long et comprend une demi-longueur en sol traité uniquement à la chaux et l'autre partie pré-traitée à la chaux puis traitée au ciment. Pour le traitement à la chaux seule, le dosage en chaux a été déterminé entre 1 et 3,5 % en fonction de la teneur en eau naturelle du sol. Pour le traitement mixte, le dosage en chaux est de 2,5 % et le dosage en ciment de 5 %. Le traitement des sols à l'aide de produits pulvérulents permet la réalisation des remblais et des couches de forme. Ce type de traitement nécessite de bien connaître le matériau que l'on souhaite traiter. Les nouvelles méthodes de réalisation et l'emploi de différents éléments sont testés, en particulier des matériaux à valoriser comme les cendres volantes [Afechkar M., Nahhass M.] ou le ciment de verre. On peut également remarquer que chaque pays utilise des méthodes adaptées à ses propres contraintes.

KERGOËT 2001 a étudié la méthodologie de traitement pour couche de forme décrite dans le guide technique (GTS).

Il montre l'intérêt de l'essai d'aptitude au traitement pour faire une première sélection du couple sol-liant. Ainsi il a étudié le comportement mécanique du mélange et montre, en particulier, la forte pénalisation induite par une insuffisance de compacité.

Le sol qui a été étudié par KERGOËT est constitués essentiellement de limons classe A2 et de et de sables fins pollués B5 et suivant la classification du guide technique routier (GTR), Ces sols se prêtent habituellement bien au traitement et ont souvent été utilisés pour la réalisation de couches de forme (limons A2), la solution choisie avec une formulation de traitement de des limons A2 par 2 % de CaO et 7% de ciment CPJ CEM II A 32,5, les formulations testées sont les suivantes : sol A2 traité par 2 % CaO + 6 % LHR, sol B5 traité par 1 % CAO + 6 % LHR La formulation de sols A2 traités satisfait aux critères d'aptitude (faible gonflement volumique Gv et bon développement des résistances Rtb), Ce n'est en revanche pas le cas de la formulation à base de sols B5 dont les résultats du test d'aptitude sont considérés comme douteux. Il a donc été décidé de ne pas engager l'étude avec le sol B₅ (sable et grave très silteux)

BEHMANESH 2008 a étudié la possibilité d'utilisation des sédiments fins dragues dans le port autonome du havre après traitement avec des liants hydrauliques pour une construction de couches de forme ou de fondation, dans cette valorisation par ajout de ciment et additifs, différentes formulations en liants ont été effectuées; une attention particulière a été portée pour ne pas dépasser un pourcentage de 9% en liants au maximum.

D'après Bahar et al 2004 qui ont traité un sol de la région de Tizi-Ouzou avec du ciment.ils ont constaté qu'avec l'augmentation du ciment, la résistance à la compression simple des échantillons augmente, ils ont conclu que la teneur en ciment a un effet sur la perméabilité des échantillons.

IV-6 Conclusion

Le traitement des sols avec de la chaux et/ou des liants hydrauliques est aujourd'hui une méthode éprouvée et qui est en passe de devenir incontournable dans

les chantiers d'amélioration des sols. En effet, elle offre de nombreux avantages tant en termes de caractéristiques mécaniques sur les matériaux traités que sur un plan économique.

Cependant cette technique peut s'avérer complexe, notamment lors de la réalisation de l'étude de formulation. La composition des sols étant extrêmement variable il est nécessaire de redéfinir à chaque fois les caractéristiques géotechnique pour faire le choix du traitement à privilégier et du dosage à appliquer. De plus certains éléments tels que les sulfates ou les matières organiques sont néfastes quant à la prise du liant hydraulique, ce qui conduit à réaliser des études plus approfondies pour être certain d'obtenir le résultat attendu.

Ce travail de présentation résume tout d'abord toutes les informations qui permettent de décrire les avantages du traitement en général et de caractériser les différents types de sols. Nous nous intéresserons ensuite aux différents produits pour les comparer et tenter de les classer, puis nous exposerons les problèmes et les limites actuelles des différents traitements possibles.

Le traitement des sols à la chaux, au ciment ou au liant hydraulique routier LHR est une technique éprouvée et tout à fait maîtrisée, qui connaît un grand développement depuis une vingtaine d'années mais dont on peut observer une approche dès l'Antiquité

Selon l'utilisation prévue en couches de chaussée ou en fonction du type de sol à stabiliser, il existe plusieurs types de traitements des sédiments qui ne diffèrent que par la nature du liant utilisé, le traitement à la chaux dans le cas de sols fins, et le ciment ou liant hydraulique routier (LHR) ou mixte à la chaux puis au ciment ou au liant hydraulique routier dans le cas de sols peu plastiques ou peu argileux.

Chapitre V

Application À La Valorisation des sédiments de dragage
Du Barrage BAKHADDA

Chapitre V

Application à la valorisation des sédiments de dragage du barrage BAKHADDA

V-1 Introduction

Tout projet de construction doit être étudié avec des données complètes, ce qui suppose une bonne connaissance du matériau utilisé, la reconnaissance de sédiment est donc indispensables, l'un des moyens les plus sûres est de prélever des échantillons autant que possible intacts mais les prélèvements des échantillons dans notre cas sont remaniés.

La recherche effectuée dans les études de valorisation consiste à déterminer les formulations optimales de mélanges pour un comportement idéal du sol destiné à la structure de chaussée.

Pour une valorisation des sédiments en technique routière, la méthodologie utilisée est divisée en quatre (04) grandes phases:

1. La première Phase : c'est la caractérisation des sédiments bruts, ces études permettent d'identifier les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des sédiments et d'évaluer leur impact sur l'environnement.
2. La deuxième Phase : c'est le Traitement des sédiments par un correcteur granulométrique (sol grenu) et par des liants hydraulique et aérien (ciment, chaux) afin d'étudier leur influence sur les propriétés géotechniques et mécaniques du sédiment.
3. La troisième Phase : cette phase s'intéresse à étudier le comportement mécanique différentes formulations constituées du sédiment traité qui seront proposées pour une utilisation en corps de chaussée (couche de forme, couche de fondation et couche de base).
4. La quatrième Phase : c'est l'évaluation des comportements mécanique à l'échelle d'une planche expérimentale établie in-situ.

V-2 Identification physico-chimique du sédiment brut de BAKHADDA

Dans cette étude, les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques du sédiment brut du barrage BAKHADDA sont présentées, La caractérisation de ces sédiments bruts est une opération indispensable pour l'orientation du choix de la méthodologie et les outils à mettre en œuvre dans cette étude.

V-2-1 Prélèvement des échantillons

Les échantillons étudiés sont prélevés de deux sites à l'aide de la pelle manuelle. Les premiers échantillons du (site 01) ont été prélevés de (04) points répartis en aval de la retenue du barrage de BAKHADDA à des distances variables à proximité de la vanne de vidange (Photo 5.1).



Le deuxième échantillon (Site 02) a été prélevé en amont du barrage situé dans la zone de rejet à 2 km de la digue «les bassins de décantation» pendant l'opération de dragage (Mars 2009), photo (5.2)

Les échantillons de sédiments prélevés ont été conditionnés en sachets plastique fermés et conservés.



Photo (5.2): Points de prélèvement de sédiment [site 02] des bassins de décantations

V-2-2 Caractérisations physico-chimiques et mécaniques

Un certain nombre d'essais d'identification ont été réalisés sur les deux sédiments prélevés des deux cotés (amont et aval du barrage de BAKHADDA) permettant de classer nos sédiments selon la norme NF P11-300 (Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières) et le GTR 2000 (Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme). Nous avons donc déterminé les paramètres suivants (Tableau 5.1) :

- Les propriétés physico-chimiques
 - La détermination de la teneur en eau naturelle.
 - Le Taux de matières organiques MO
 - L'analyse granulométriques (Tamisage sous l'eau, sédimentométrie).
 - Les limites d'Atterberg (WL, WP et W_r)
 - La valeur au bleu de méthylène (VBS)
 - La masse volumique des grains solides (au pycnomètre)

- La détermination des carbonates du CaCO_3 (au calcimètre)
- La détermination de l'acidité du matériau (Essai au PH-mètre)
- Les analyses chimiques et minéralogiques des sédiments de dragage par Fluorescence X et diffraction X
- Les propriétés mécaniques (les paramètres de compactage et portance)
 - Les essais de compactage-portance (Proctor modifié, IPI immédiat)
 - L'essai de gonflement volumique GV
 - Les essais de compression simple (RC, résistance à la compression)
 - Les essais de traction directe R_t et indirecte (essai brésilien R_{tb}) et la détermination du module d'élasticité E .

Tableau (5.1) : Présentation des essais géotechniques effectuées sur les échantillons

Essais d'identification	Norme
Teneur en eau Naturelle	NFP 94-050 AFNOR, 1995
Teneur en matières Organique (MO)	NFP94-047/055 AFNOR 1998/ 1993
Analyse Granulométrie (tamisage Par voie humide)	NFP 94-041 AFNOR, 1995
Analyse Granulométrique par sédimentometrie	NFP 94-057AFNOR, 1992
Les limites d'Atterberg (WL,WP, Wr)	NFP94-051 /XPP 060-1 AFNOR, 1993/1997.
Valeur au bleu de méthylène (VBS)	NFP 94-068 AFNOR, 1998
Masse volumique des grains solides (γ_s) au pycnomètre	NFP 94-054 AFNOR, 1991
Détermination de la teneur en carbonate CaCO_3	NF P 94-048 AFNOR, 1996
Détermination de PH l'acidité du matériau	NF X 31-103 AFNOR 1997
L'essai de compactage (Proctor modifié, IPI immédiat)	NFP94-093/078 AFNOR1999, 1997
Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement « gonflement volumique GV » (Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques)	NF P 94-100 AFNOR 1999
Essai de compression diamétrale (fendage)	NF P 98-232-3 AFNOR 2001
Essai de compression simple (compression uniaxiale)	NF P 94-077 AFNOR, 1997

Les valeurs des essais obtenues sont des paramètres importants pour classer les matériaux selon la norme NF P11-300 et le GTR 2000 et prévenir leurs impacts sur le processus de valorisation par la suite.

V-2-2-1 Teneur en eau naturelle (Wn %)

Le tableau (5.2) représente les résultats de la teneur en eau naturelle des sédiments (site 01, site 02) du barrage BAKHADDA déterminée selon la norme (NFP 94-050).

Tableau (5.2) : La teneur en eau naturelles des deux sédiments dragués du barrage BAKHADDA

TYPE DE SÉDIMENT		Wn (%)	
01	Sédiment brut 01	(Sb1-1)	86
02	Sédiment brut 02	(Sb1-2)	51
03	Sédiment brut 03	(Sb1-3)	75
04	Sédiment brut 04	(Sb1-4)	63
05	Sol o2 Échantillon 01	(Sb2-1)	96
06	Sol o2 Échantillon 02	(Sb2-2)	60

Il a été constaté que la teneur en eau des deux sédiments est très élevée entre 50 à 86% pour le sédiment brut (site 1) et 60% à 96 % pour le sol 2 (site 2). Mais elle demeure une caractéristique habituelle d'un sédiment de dragage. Le comportement d'un sol varie dans des proportions importantes en fonction de sa teneur en eau. Pour une valeur élevée de la teneur en eau, le sol se comporte à peu près comme un liquide, c'est de la vase : les forces de cohésion ne sont pas assez importantes pour maintenir les particules en place.

V-2-2-2 Teneur en matières organiques (MO)

La présence des matières organiques influence sur les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau. Il est donc nécessaire de pouvoir évaluer la proportion en matières organiques. La mesure de cette teneur en MO peut s'effectuer selon deux procédés:

a. La méthode Chimique : L'essai consiste à déterminer, par un procédé chimique, la teneur en carbonate d'un échantillon de sédiment brut du barrage BAKHADDA. elle consiste à prendre une prise de l'échantillon préparé et mélangée à une solution oxydante de caractéristique et de quantité connues une fois l'oxydation réalisée, il est procédé au dosage de la quantité de produit à réagir avec le carbone dans l'échantillon. La teneur en MO. C'est le quotient de la masse de matière organique contenues dans un échantillon de sol par la masse des particules solides selon la norme (NFP 94-055 AFNOR 1993).

b. La méthode Par calcination C_{MOC} : Ille consiste à déterminer la perte de masse d'un échantillon préalablement séché, après calcination dans un four à une température comprise entre 450°C et 500 °C. la teneur en MO est par définition le rapport de la masse de matières organiques contenues dans un échantillon détruites par calcination sur la masse sèche des particules solides avant la

calcination de la fraction du matériau passant au tamis de 2 mm. (NFP 94-047 AFNOR 1998)

Le tableau (5.3) montre les valeurs obtenues de la teneur en matière organique de deux sédiments étudiés

Tableau (5. 3): Le pourcentage des valeurs de matières organiques M O(%) des sédiments

TYPE DE Sédiment	TAUX DE MO %	TAUX moy DE MO %
Sédiment brut 01	4,49	7%
Sédiment brut 02	8,4	
Sédiment brut 03	7,15	
Sédiment brut 04	6,19	
Échantillon 01 de sédiment de site02 (sol02)	3.85	3%
Échantillon 02 de sédiment de site02 (sol02)	2.60	

Les échantillons ont une teneur en matières organiques moyenne de 7% ($3\% \leq \% MO \leq 10\%$) pour le sédiment brut de site 01 et de 3% pour le sol 02 qui permettent de classer le deux sédiment en classe F11, classe des matériaux faiblement organiques avec les sous-produits industriels selon GTR2000 et NF 11-300. La présence des matières organique influence sur les caractéristiques physiques et mécaniques du matériau. D'après Bennert et al. 2000 une quantité de 3 à 4% de matière organiques peut modifier les caractéristiques du matériau.

V-2-2-3 Analyse granulométrique

La distribution granulométrique a été réalisée selon les normes françaises (NF P 94-56/57), elle constitue le premier paramètre d'entrée dans les tables de classification. Dans cette étude, La granularité se définit comme la répartition de la dimension moyenne des particules du sol, exprimée en pourcentage de la masse totale du matériau.

La courbe granulométrique de sédiment de dragage étudié a été établie par le tamisage sous l'eau pour la détermination de la distribution en poids des particules de sédiments $\geq 80\mu\text{m}$.

La fraction inférieure à $80\mu\text{m}$ est analysée par l'analyse granulométrique par sédimentométrie, elle est basée sur la loi de Navier Stokes qui exprime la vitesse de décantation d'une particule sphérique dans un liquide visqueux en fonction du diamètre de particule. Pour l'étude granulométrique des sédiments dragués, on a effectué quatre essais de tamisage sur quatre échantillons (Sb1, Sb2, Sb3, Sb4) qui représentent la granularité moyenne des sédiments dragues du barrage BAKHADDA.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau (5.4) leurs courbes granulométriques correspondantes apparaissent sur la figure (5.1), un histogramme de répartition granulométrique en pourcentage est présenté aussi sur la figure (5.2).

Figure (5.1): Les courbes granulométriques des échantillons du sédiment brut du site 01

Tableau (5.4): Récapitulatif des fractions granulométriques et les principaux diamètres des échantillons de sédiment brut du barrage BAKHADDA

Type des sédiments	Sable gros (%)	Sable Fin (%)	Limon (%)	Argile (%)	Diamètres des caractérisations (μm)	CU	Cc			
							D10	D60	D30	
Sédiment brut 01	1	8	77	14	3,4	7.5	5	2.20	0,98	
Sédiment brut 02	4	3	65	28	3	5	4	1.66	1.06	
Sédiment brut 03	4	5	74	17	3.2	6	4.5	1.87	1	
Sédiment brut 04	3	3	72	22	4.5	8	5.5	1.77	0.84	

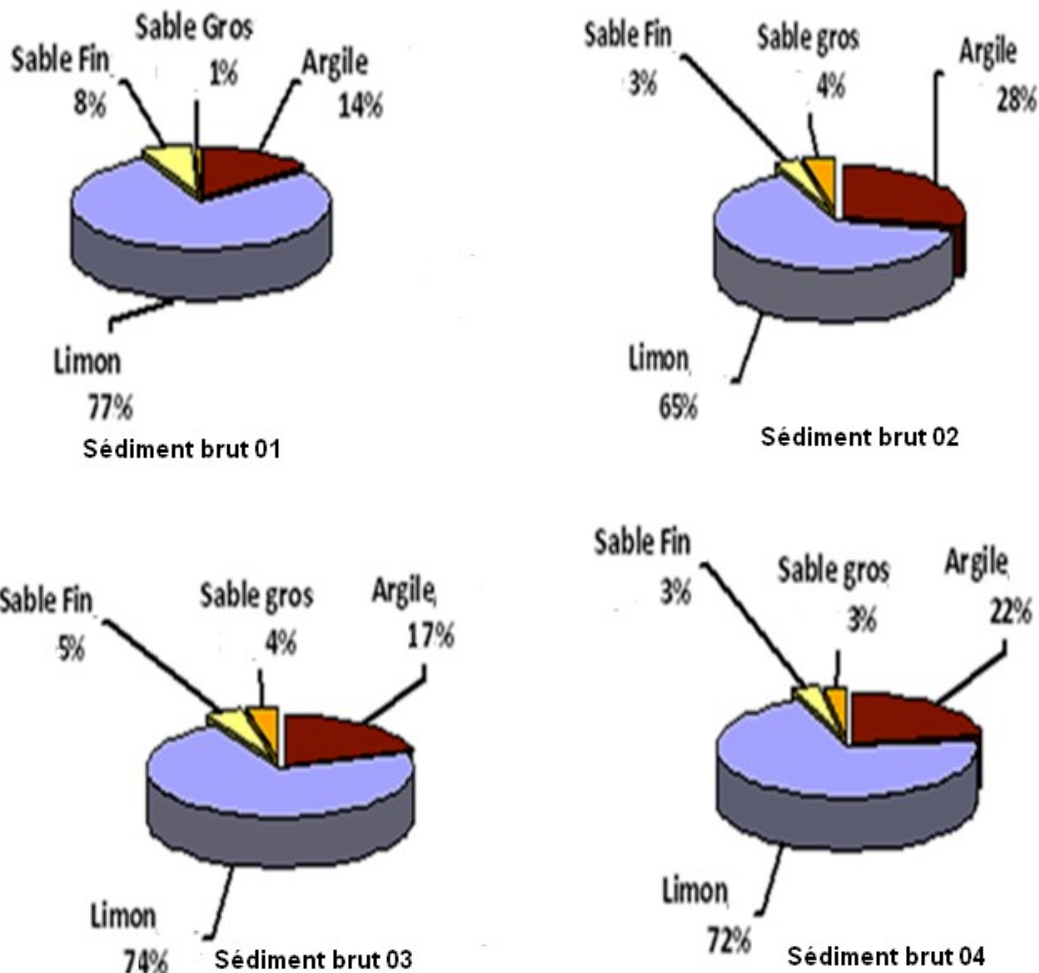


Figure (5.2): Histogramme de répartition en pourcentage (Sable/Argile /Limon) des sédiments de dragage étudiés

L'analyse des courbes granulométriques des 04 sédiments étudiés nous montre une distribution des particules très proche entre les sédiments Sb1, Sb2, Sb3 et Sb4 caractérisant d'un sol à granulométrie fine. ces sédiments sont composés majoritairement de limon ($2\mu\text{m} < \text{grains} < 63\mu\text{m}$) de pourcentage compris entre 65% et 77% avec des pourcentages d'argile compris entre 14 et 28 %. Une présence de particules sableuses supérieures à $63\mu\text{m}$ assez ponctuelles est obtenue (% de sables $< 9\%$).

Le calcul des coefficients d'uniformité, ($C_u = d_{60}/d_{10} = 1.88 < 2$) et de courbure, ($C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60}) = 0.97 < 1$) (Tableau (5.4)) montre que ce sédiment présente une granulométrie serrée et mal graduée.

La courbe granulométrique du sédiment correspondant au site 02 est représentée sur la Figure (5.3). L'analyse granulométrique de cette courbe nous montre que ce sol présente un grand pourcentage de sable 85%.

Figure (5.3): La courbe granulométrique de Sol 2 site 02

Notre étude a porté sur le site 1 car le sédiment brut dans cette zone représente réellement l'envasement du barrage et que l'action de dragage s'effectuera sur ce site. Concernant le deuxième site (sol 2) qui se trouve loin de la digue, il peut être considéré comme un sable de dragage avec qui on pourra l'utiliser comme un correcteur granulométrique dans un processus de valorisation.

V-2-2-4 les Limites d'Atterberg

Cet essai a pour but de déterminer les teneurs en eau sur la fraction des sédiments ($0/400 \mu\text{m}$) de référence liées au changement d'état du matériau (Figure 5.4). Ces

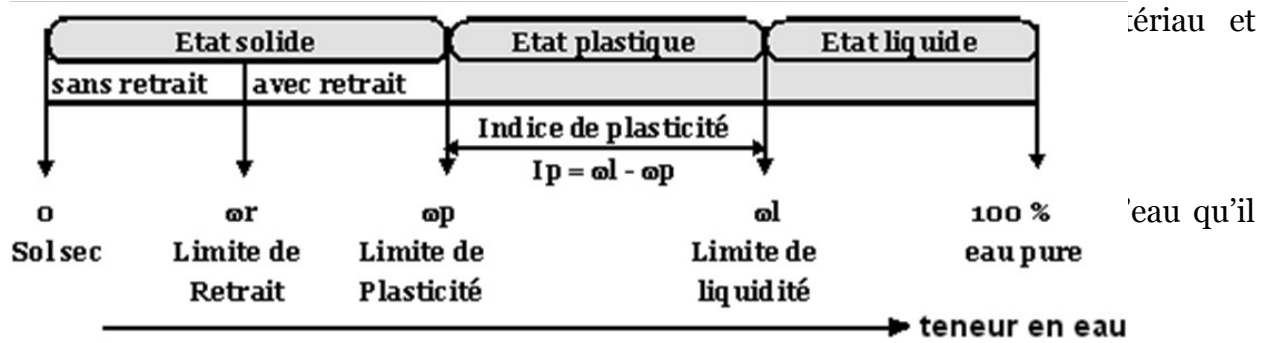
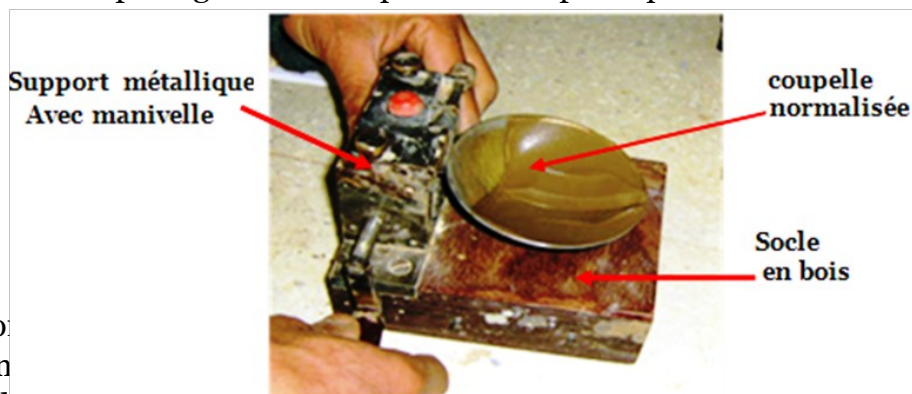


Figure (5.4): Définition des limites d'Atterberg et l'indice de plasticité

V-2-2-4-1 La limite de liquidité WL

La limite de liquidité WL mesurée à la coupelle de Casagrande, représentant la teneur en eau du passage de l'état liquide à l'état plastique.



Selon les normes, la limite de liquidité WL correspond à la teneur en eau qui est atteinte dans la pâte de l'échantillon pour un nombre de chocs N égal à 25 voir PHOTO (5.3).

eur en eau qui dans la pate de

Sur la base de cet essai, la droite moyenne ajustée pour les couples de valeurs obtenus (log N - W) a été tracée et la limite de liquidité WL correspondant à N = 25 a été déduite.

Les valeurs de limite de liquidité du sédiment brut du site 01 sont élevées et comprise entre 60% et 65% (Tableau 5.5). Pour le sol 02 (site 02) sa limite de liquidité est 25 %.

V-2-2-4-2 La limite de plasticité WP

La limite de plasticité mesurée par la méthode au rouleau, représente la teneur en eau du passage de l'état plastique à l'état solide. Selon la norme NF P 94-051, cette limite de plasticité est la teneur en eau du rouleau qui se fissure au moment où son diamètre atteint 3 mm.

Une fois le couple (WL, WP) définit, d'autres paramètres mesurant l'étendue des phases plastiques et liquides peuvent être définis à savoir.

: L'indice de plasticité.

: L'indice de consistance.

: L'indice de liquidité

Les résultats obtenus des essais aux limites d'Atterberg sur le sédiment brut du barrage de BAKHADDA sont présentés sur le Tableau (5.5) et la figure (5 .5).

Tableau (5.5): Récapitulatifs des résultats des limites d'Atterberg des sédiments bruts du barrage BAKHADDA

TYPE de sédiment	Wn(%)	WL(%)	Wp(%)	Ip	IL	Aact	Ic	Type de sols
Sédiment brut 01	86	62	31	31	1,79	0,34	-0,79	Argile inactive plastique
Sédiment brut 02	51	65	33	32	0,55	0,36	0,45	Argile inactive plastique
Sédiment brut 03	75	60	33	27	1,57	0,30	-0,57	Argile inactive peu

								plastique
Sédiment brut 04	63	64	32	32	1,97	0,35	-0.97	Argile inactive plastique
Sédiment de site 02	78	25	16	9	/	/	/	Sable

Figure (5.5): Les résultats obtenus des limites d'Atterberg portés sur le diagramme de plasticité de Casagrande.

D'après le positionnement du couple (W_L , I_p) des 04 sédiments étudiés sur le diagramme de plasticité, on constate que les sédiments du barrage se situent à l'intersection de deux classes de matériaux : argile de forte plasticité et limon très plastique-sol organique très plastiques. Pour le sol 02 (sable) est un sol non plastique ($IP = 9$).

V-2-2-4-3 La limite de retrait W_r

La limite de retrait (W_r) : est la teneur en eau pondérale conventionnelle de dessiccation d'un sol remanié, au dessous de laquelle le volume de l'échantillon est supposé ne plus varier. Elle est déterminée par la norme XP P 94-60-1. Après l'étuvage des échantillons de sédiments étudiés, on a constaté un taux de retrait élevé voir photo (5.4).



Le sédiment brut avant dessiccation



le sédiment brut après dessiccation

Photo (5.4) : Le taux de retrait pour le sédiment de dragage de site 01

Tableau (5.6): Les Résultats de la détermination de la limite de retrait(W_r) et l'indice de retrait(I_r) pour les 04 sédiments étudiés

Les paramètres	Sédiment brut de site 01				Sédiment de site 02
	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	(sol02)
Wr(%)	12	7	10	9	21
Wr moy(%)	9				
WL(%)	62	65	60	64	25
Ir=WL- WR	50	58	50	55	4
Ir moy	53				

Figure (5.6) : Histogramme de taux de retrait des sédiments bruts sites 01 et 02 du Barrage BAKHADDA.

Ce retrait est dû principalement au départ par séchage d'une grande quantité d'eau. Ceci était prévisible puisque le sédiment étudié possède une teneur en eau très élevée.

Nous avons remarqué que nos échantillons présentent un taux de retrait très élevé ($W_{rmoy}=9\%$, $I_{rmoy}=53\%$) qui selon les études de Holtz, Dakshanamurthy et Raman (1973) indiquent que ce type de sol (sédiment S01) présente un potentiel de gonflement élevé ($7\% < W_r < 12\%$) et ($50\% < W_L < 70\%$). Une même constatation vérifiée par les études de Ranganatham et Satyanarayana (1965) qui confirment ce potentiel de gonflement élevé par l'indice de retrait IR ($30\% < IR < 60\%$).

Pour le sol du site 02, le potentiel de gonflement est faible ou : $W_r = 21\% > 15\%$; $I_r = 4\% < 20\%$.

V-2-2-5 Valeurs au bleu de méthylène VBS

Cet essai a pour but de caractériser globalement la fraction argileuse contenue dans le matériau. Il consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir les particules d'argile mis en suspension exprimée en grammes de bleu par 100 g de la fraction 0/50 mm de matériau. L'essai permet de mesurer indirectement la surface spécifique des grains solides et l'argilosité par adsorption d'une solution de bleu méthylène jusqu'à la saturation donc on peut évaluer l'activité argileuse des sédiments. Plus la quantité de bleu de méthylène adsorbée sera importante, plus l'activité argileuse sera importante.

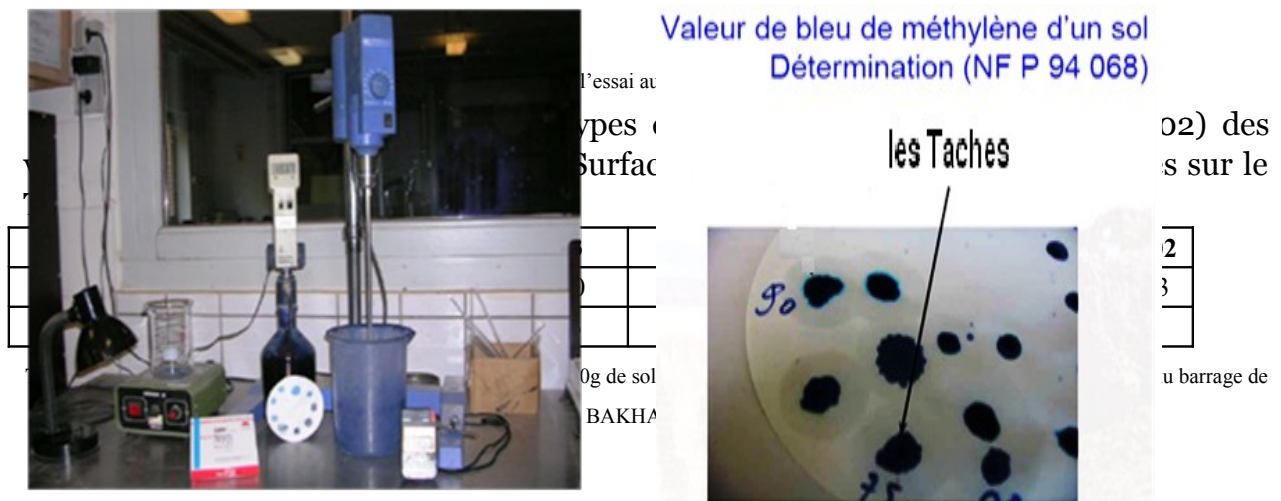


Figure (5.7): Histogramme des Valeurs au bleu de méthylène (VBS) et surface spécifique totale (SST) des Sédiments brut (Sb1, Sb2, Sb3, Sb4, Sol2)



Figure (5.8): Nomination d'un sol en fonction de sa valeur au bleu de méthylène (VBS)

Selon l'analyse granulométrique (passant à 80µm > 35%), l'indice de plasticité (Ip) et la valeur au bleu méthylène (VBS) présentées dans les Tableaux (5.8) et (5.9). On peut classer nos sédiments de dragage [site 01] Selon la classification du GTR 2000, [NF 11-300] LPC- USCS [MAGNAN 1998] comme étant des sols fins : limon -argileux très plastique appartenant à la classe A₃ (Figure 5.9),

Le sol 02 est classé comme un sol sableux limoneux (classe B05) d'après l'indice de plasticité IP < 12 et le passant à 80 µm < 35% ainsi que la valeur de bleu méthylène obtenue (VBS = 0,73).

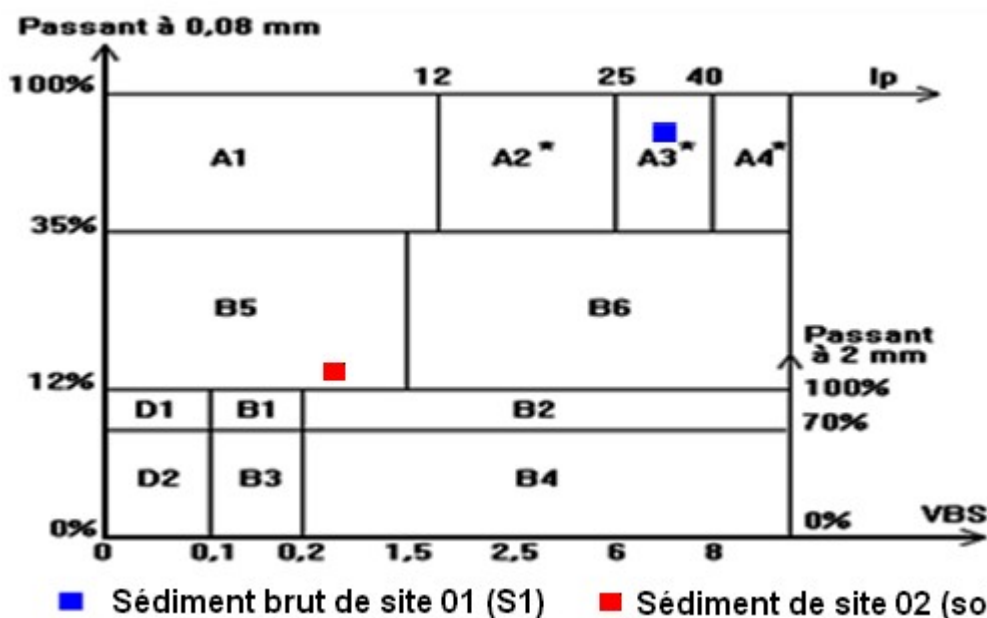


Figure (5.9): Positionnement des sédiments de dragage dans la classification des sols du GTR 2000

Tableau (5.8) : Récapitulatif des Paramètres d'identification des sédiments étudiés

Paramètres d'identifier	Sédiment brut site 01 (moy de 04 échantillons)	Sédiment brut site 02 (sable)
Passant à 2 mm	100	100
Passant à 80µm	95	22
Ip	31	9.45

VBS	6	0.73
-----	---	------

Les sols fins ont toujours posé de nombreux problèmes dans le domaine de la géotechnique. Cela est dû aux propriétés particulières des argiles qui ont la faculté d'échanger des ions avec le milieu environnant, de s'humidifier ou de se dessécher, entraînant selon les cas une perte de résistance, un gonflement ou un retrait important. Les conséquences engendrées par ces phénomènes peuvent se traduire par des fissures importantes, une perte de portance du sol ou encore des glissements de terrain [LAUTRIN 1989], ce qui nécessite un traitement approprié pour améliorer leurs caractéristiques lorsque le sol est utilisé comme matériau constitutif des couches de chaussées

La connaissance de l'Argilosité intervient directement dans le choix du produit de traitement à utiliser, on considère, en effet, que plus le matériau est fin plus l'emploi d'un liant hydraulique s'impose.

Tableau (5.9): Classification des sols fins Classe A

Paramètres de nature Première niveau de classification	CLASSE	Paramètres de nature deuxième niveau de classification	sous classe fonction de la nature
$D_{max} \leq 50$ et $Tamisé \ à \ 80 \ \mu m > 35\%$	A Sols Fins	$VBS \leq 2,5$ ou $IP \leq 12$	A1 Limons peu plastiques, lœss, silt alluvionnaires, sable fins peu pollués, Arène peu plastique
		$12 \leq IP \leq 25$ ou $2,5 < VBS \leq 6$	A2 Sables fins argileux, Limons, argiles et marnes peu plastiques, arène
		$25 \leq IP \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$	A3 Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques
		$IP > 40$ ou $VBS > 8$	A4 Argiles et argiles marneuses, très plastiques

V-2-2-6 Le poids Volumique Absolue Des Sédiments (γ_s)

Nous avons déterminé le poids volumique absolue γ_s par le biais de l'essai au pycnomètre selon la norme NF P 94-054.

Tableau (5.10): Masse volumique des particules solides des sédiments de dragages

Type de sédiment	Sb1	Sb2	Sb3	Sb4	Sol 02
γ_s (KN/m ³)	26,59	26,80	26,17	26,74	26.42

$\gamma_{S_{moy}}$ (KN/m ³)	26,57	
---	-------	--

Le poids volumique absolue des sédiments obtenue dans notre cas correspond à la moyenne des mesures effectuées sur les quatre échantillons de sédiment étudiés de site 01, elle est égale à 26,57 KN/m³) pour le sol 01 et de 26.42 pour le sol 02 (Tableau 5.10).

V-2-2-7 Détermination de la teneur en carbonate (Caco3).

La teneur massique en carbonate d'un matériau est le rapport entre la masse de carbonate contenue dans le matériau et la masse de matériau sec. Elle est déterminée par la norme NF X 31-106.

L'essai consiste à déterminer le volume de dioxyde de carbone (CO₂) dégagé sous l'action d'acide chlorhydrique en excès (dans des conditions de température et de pression atmosphérique connues) par un échantillon préparé pour l'essai. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (5.11).

Tableau (5.11): Résultats de la teneur en carbonate de calcium Caco3 pour les sédiments étudiés

TYPE DE SÉDIMENT	%Caco3 teneur en carbonate de calcium	Caco3 Moy	CLASSIFICATION
Sb1	20	17,62	Peu calcaire
Sb2	13		
Sb3	19		
Sb4	18,5		
Sol02	22	22	



és du site S01 est de 18% et pour le solo2 est
ents (o1 et o2) contiennent peu de calcaire

matériau (PH).

est effectuée par l'essai du PH-mètre (photo
és ont eu un PH _{Moyen} de 10,6 ce qui indique
actère fortement basique, Le pH du sol (o2)
ique tableau (5.12)

iment dragué par un appareil de PH-mètre

Tableau (5.12) Les résultats de pH pour les sédiments étudiés des sites 01 et 02

TYPE DE SÉDIMENT	PH	PH Moyenne
Sédiment brut 01 (Sb1)	11	10,6
Sédiment brut 02 (Sb2)	9,5	
Sédiment brut 03 (Sb3)	10	
Sédiment brut 04 (Sb4)	12	
Sédiment de site 02 (Sol2)	8.44	8.44

V-2-2-9 Analyses chimiques et minéralogiques du sédiment étudié.

Une bonne connaissance des minéraux présents dans ces sédiments est indispensable pour mieux connaître le matériau et anticiper l'influence de certains minéraux qui risque d'engendrer des problèmes dans le processus de la valorisation.

La reconnaissance des phases cristallines des sédiments du barrage de Bakhadda a été effectuée au Laboratoire de cimenterie L.A.F.A.R.G.E. SIG MASCARA en Novembre 2010. Ces analyses ont été réalisées sur des poudres sèches, par diffraction aux rayons X. L'analyse des résultats obtenus nous a conduits à constater une présence d'un pourcentage d'alumino-silicates important dans la constitution minéralogique du sédiment brut du barrage Bakhadda (Tableau (5.13)), ce qui nous confirme bien la

présence modérée des particules argileuses qui a conduit à une plasticité élevée de ce type de sédiment (S1).

Tableau (5. 13) Composition chimique de sédiment dragué obtenue par fluorescence X (%massique)

Fe2O3	SiO2	CAO	MgO	Al2O3	Na2O	Cl	Perte au feu (paf) à 950 C°
3,65	69,3	8,46	1,22	9,07	0,09	0,003	9,41

V-2-2-10 Essai de compactage-portance des sédiments des sites 01 et 02

Les paramètres de compactage sont très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage, lorsqu'ils sont utilisés en construction routière. Les essais de Proctor modifié (γ_{dmax} , W_{OPM}) et CBR (IPI_{OPM}) permettent de déterminer les caractéristiques de compactage d'un matériau et montre l'importance de la teneur en eau vis à vis du poids volumique sec obtenu pour une énergie de compactage donnée.



Photo (5.7) : Matériel de l'essai Proctor modifié.

Afin d'obtenir la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale, une étude de Proctor est nécessaire pour les formulations utilisés dans les couche de chaussées routier.

Nous avons compacté le sédiment brut dans un moule CBR avec différentes teneur en eau selon la norme NF P 94-093 avec un processus et une énergie conventionnelle de 56 coups par couche. Pour chaque valeur de teneur en eau, on mesure la masse volumique sèche de sédiments dragués.

L'indice portant immédiat (IPI) est évalué à partir de l'essai Proctor – IPI. On associe l'essai de CBR à la mesure de portance IP Immédiat qu'il est déterminé par un essai de poinçonnement avec un piston enfoncé à la vitesse constante de 1,27 mm/min (photo (5-8)) ,conformément à la norme NF P94-078. Par conséquent, l'indice IPI est la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$I.IPI_{2,5} = 100 \times F_{2,5} / 13,35$$

$$I.IPI_5 = 100 \times F_5 / 20$$

$F_{2,5}$: Force (en KN) à 2,5 mm d'enfoncement

F_5 : Force (en KN) à 5 mm d'enfoncement

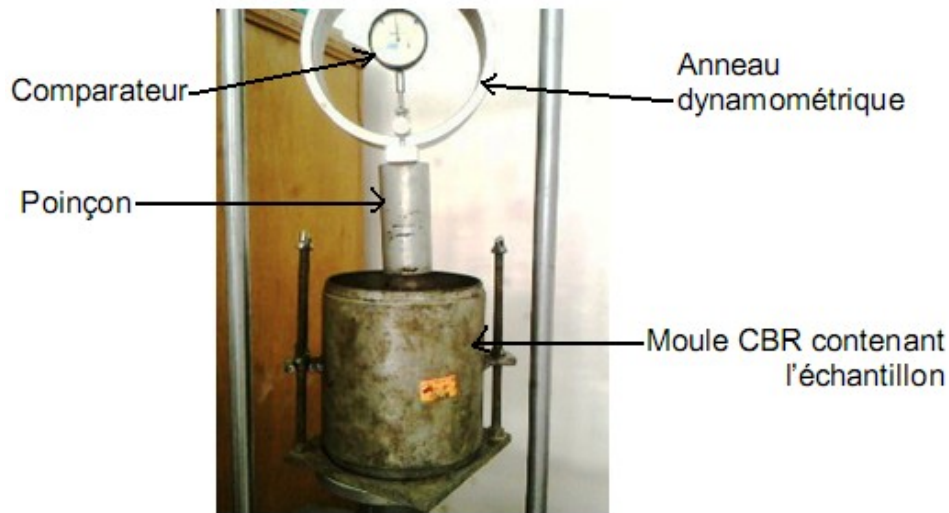


Photo (5.8): L'essai CBR et la détermination d' IP Immédiat

Les courbes de compactage (Proctor Modifié)-Portance (IPI) sont présentées sur les figures (5.10) à (5.13).

Le tableau (5.14) résume les paramètres de compacité et de portance obtenue à l'optimum Proctor Modifié pour les deux sédiments étudiés (S1 et S2).

Figure (5.10): Essai de densification (compactage (Wopm , γ_{dmax})) du sédiment brut de site 01

Figure (5.11) : La courbe de portance (I'IPI) du sédiment brut 01 de site 01

Tableau (5.14) : Les valeurs de l'optimum Proctor modifié des sédiments étudiés

N°	Formulation de Mélange	W _{OPM} (%)	$\gamma_{dmax}(gr/cm^3)$	IPI _{OPM}

1	Sédiment brut site 01 (S1)	23	1,9	16
2	Sédiment site 02 (Sol 2)	18	1,93	20

Figure (5.12): L'essai de densification (le compactage Wopm , γ_{dmax}) du sédiment 02 site 02

Figure (5.13) : La courbe de portance (IPI) du sédiment étudié 02 de site 02

L'analyse des résultats obtenus de ces essais de compactage-Portance des deux sols nous a conduits à constater ce qui suit :

1. L'apparition nette du pic pour la courbe de compactage du sédiment (S1) par rapport à celui du sédiment (S2) signifiant la sensibilité de ce type de sédiment (S1) à la teneur en eau ;
2. La densité maximale à l'Optimum Proctor Modifié est sensiblement égale pour les deux types de sédiments ;
3. Les indices IPI_{OPM} sont faibles pour les deux sols signifiant une faible portance de ces deux matériaux à l'état brut, ce qui n'assure pas la circulation des engins de compactage sur le chantier sachant que les valeurs souhaitables pour les couches de chaussées routières non inférieures à 35% pour la couche de fondation et 45% pour la couche de base.

V-3 Conclusion des caractérisations des sédiments bruts des sites 01 et 02

Les différents essais de caractérisations physico-chimiques et minéralogiques permettent de classer le sédiment brut selon le GTR 2000 et NF P11-300. Du point de vue granulométrique, les échantillons de sédiment brut (01) se classent en rubrique de sols fins, noté classe A avec une proportion en matière organique inférieure à 10%, La sous-classe peut être déterminée en fonction de l'activité argileuse (VBS) et du caractère plastique, toutefois les paramètres obtenus entrant en jeu sont contradictoires.

Effectivement, la valeur au bleu nous oriente le sédiment vers classe A 2, les limites d'Atterberg nous permettent d'identifier le sédiment brut (O1) comme la sous classe A3, Le GTR a indiqué que dès que la valeur de l'IP est entre 12 et 40, il constitue le critère d'identification le mieux adapté. Donc, il est possible de classer notre sédiment brut (O1) en sous classe A3. Avec la densification et la portance de sédiment de site O1 (γ_{dmax} , W_{opm} , IPI_{opm}) cette classification obtenue, le sédiment du site (O1) n'est pas favorable pour une utilisation comme un matériau constitution des couches de chaussées d'après le GTR 2000 et NF P11-300.

Pour le sédiment de site O2, l'analyse granulométrique montre que le sol O2 contient une grande quantité de sable (85%) et le tamisât à $80 \mu m < 35\%$ avec une proportion en matière organique faible, le sédiment est classé en sol sableux d'après le GTR 2000 et NF P11-300.

V-4 Valorisation du Sédiment brut de site O1 en corps de chaussée.

Les sédiments ont une composition structurale complexe et peuvent être considérés comme un matériau évolutif (Abriak N., 2007).

La présence de matières organiques, même si elles ne sont pas en quantités importantes, entraîne un comportement plastique et moyennement compressible. Les essais physico-chimiques et géotechniques effectués sur le sédiment de Bakhadda démontrent bien une activité organique fortement influente sur l'ensemble de la matrice sédimentaire.

Ainsi, tant qu'aucun traitement particulier, simple ou complexe, ne sera réalisé sur ces sédiments pour détruire les matières organiques, celles-ci pourront toujours agir dans la structure du matériau.

V-4-1 Type de squelette granulaire recherché

La teneur en matières organiques représente donc le facteur clés de l'utilisation des sédiments de dragage en technique routière. Il est nécessaire de pouvoir gérer leurs effets sur l'obtention d'un matériau durable sur le plan mécanique et environnemental, en s'appuyant sur la démarche de valorisation générale suivie dans cette étude, qui consiste, principalement, à ne pas employer de traitements lourds et coûteux.

Le sédiment de dragage étudié a été ainsi mélangé à d'autres composants granulaires dans des proportions intéressantes sur le plan économique, qui permettent une application facile à l'échelle industrielle et une réduction intéressante de la teneur en eau et de la proportion de matières organiques (Tableau (5.15)). L'ajout de liants hydrauliques, pour l'obtention du matériau routier final, va permettre d'une part de diminuer la teneur en eau, par les phénomènes d'hydratation et d'apports de matières sèches et d'autre part la mise en place de liens forts entre les particules, pour augmenter les résistances, et diminuer la porosité ouverte qui permet le passage de l'eau libre dans la structure.

Pour cela, afin de renforcer la structure et d'améliorer les résistances mécaniques du matériau comportant du ciment et de chaux seule ou, une combinaison de chaux et de ciment, sont choisis.

Le ciment choisi dans le cadre de cette étude est un ciment portland composé CPJ CEMII/A 42,5 issu de l'entreprise des ciments et dérivés de Chlef (ECDE) et la chaux utilisée est une chaux vive 0/2mm.

La prise en compte du pourcentage de ces liants dans le squelette granulaire est donc nécessaire, car ce composant apporte une fraction fine supplémentaire.

Le traitement consiste en l'ajout de 6% de ciment, 3% de chaux, ou de 6% de ciment et de 3% de chaux (Figure (5.14)). Ces dosages correspondent à ce qui est habituellement utilisé en technique routière des couches d'assise pour le traitement des sols.

En plus des essais d'identification effectués sur ces quatre (04) formulations, d'autres essais mécaniques ont été établis et résumés sur le tableau (5.16).

Tableau (5.15): Présente les types de formulations étudiées

Type de formulations étudiées	Sédiment Brut du barrage BAKHADDA (%)	Sol 2 (%)	Chaux (%)	Ciment (%)
Formulation 1	50	50	0	0
Formulation 2	97	0	3	0

Formulation 3	94	0	0	6
Formulation 4	91	0	3	6

Tableau (5.16) : Essais mécaniques sur les formulations étudiées

Analyse	Principe et remarques	Norme
Optimum Proctor	Caractéristiques optimales d'un compactage du sol	NFP 94-093 AFNOR, 1998
Indice Portant Immédiat (IPI)	Aptitude d'un matériau à supporter directement sur sa surface la circulation des engins de chantier	NFP 94-078 AFNOR, 1998
Aptitude des liants au traitement	Détermination de Gonflement volumique GV et de la résistance à la traction R_{tb}	NF P94-100 AFNOR 1999
Compression simple RC et Mesure du module d'élasticité	Evaluation du potentiel élastique du matériau l'âge autorisant la mise en circulation de la couche traitée	NF P 98-232-1
Essai de compression diamétrale	Evaluation de la résistance au fendage le module élastique en traction (R_t et E).	NFP 98-232-3/ 230-2. AFNOR 2001

Figure (5.14): Diagramme des Formulations étudiées

So1 : Sédiment brut de site 01.

CH : La chaux.

C : le Ciment.

Sol2 : sédiment de site 02 (sable).

V-4-2 La Correction Granulométrique

Pour être utilisé en tant que sol support, couche de structure, un matériau à distribution granulométrique étalée est conseillé.

L'objectif est de limiter les vides en permettant aux particules de différentes tailles de s'imbriquer de manière optimale. Il est donc important d'utiliser des matériaux permettant, avec la granulométrie des sédiments, d'obtenir un bon squelette granulaire.

Les ajouts granulaires introduits sur le sédiment (Sb01) de Bakhadda, ont permis de constater sur les courbes granulométriques obtenues (Figure (5.15)) que :

1. La distribution granulométrique des sédiments traités aux liants hydrauliques présente une granularité moyenne très proche à la courbe du sédiment brut sans traitement ;
2. L'ajout de 50% du sol (S2) sur le sédiment brut (Sb01) de Bakhadda conduit à un décalage important sur la courbe granulométrique du mélange ;
3. Les valeurs des coefficients d'uniformité sont largement supérieures à la valeur référence de 2 satisfaisant la granulométrie étalée des mélanges (Tableau (5.17)). Par contre, les valeurs des coefficients de courbure sont en deçà des valeurs recommandées ($1 < Cc < 3$) pour les formulations utilisant les liants hydrauliques à la différence de la formulation 1 qui vérifie bien cette condition.

Figure (5.15): Les courbes granulométriques de sédiment brut de site 01 et les différentes formulations proposées (01, 02, 03,04)

Tableau (5.17): Influence d'ajout de matériau granulaire et liant hydrauliques sur les valeurs des pourcentages d'éléments granulaires et coefficients de courbure et d'uniformité des composants de formulations étudiées.

N°	Formulations étudiées	% > 63 μ m	% < 63 μ m	Cu	Cc			
			Gros sable (%)	Sable fin (%)	Limon (%)	Argile (%)		
1	97% Sb01+ 3%CH		4	15	54	27	3.2	0.91
2	94% Sb01+ 6%C		3	21	60	16	5	0.51

3	91%Sb01+6%C+ 3%CH	7	26	57	10	4	0.67
4	50%Sb01+50%Sol2 (sable)	14	42	28	16	28	1.12

V-4-3 Variation de l'état de plasticité des formulations étudiées

La mesure des limites d'Atterberg du sédiment traité pour les formulation étudiées représentées sur la figure (5.16) ainsi que le tableau (5.18) nous a permis de constater :

La plasticité diminue fortement après traitement par les liants hydrauliques, ce qui montre l'influence d'ajouts de liants hydrauliques sur la floculation des particules.

Cette floculation se traduit géotechniquement par une élévation importante de la limite de plasticité du sol sans modification significative de sa limite de liquidité qui conduira par conséquent à une réduction de son indice de plasticité IP.

Figure (5.16): Résultats des Limites d' Atterberg des formulations étudiées placés dans l'abaque de Casagrande.

Tableau (5.18): Influences d'ajouts des liants hydrauliques et de matériau granulaire sur les caractéristiques physico-chimiques des composants de formulations étudiées.

Formulations étudiées	γ_s (KN/m ³)	MO(%)	WL(%)	WP (%)	Wr (%)	IP	Ir
Sédiment brut site 01 (S1)	26.57	7	63	32	9	31	54
97% S01+ 3%CH	26.50	2.95	64	52	37	12	27
94% S01+ 6%C	26.60	3.05	59	43	34	16	25
91% S01+6%C+ 3%CH	26.45	2.18	61	47	33	14	28
50% S01+50%Sol2 (sable)	26.40	4.02	41	30	28	11	13

Cette diminution de l'étendue plastique des formulations peut aussi être attribuée à la diminution de la fraction organique (Tableau (5.18)) qui conduit par la suite à une réduction notable de son pourcentage de retrait gonflement.

V-4-4 Détermination de la densification et la portance des formulations étudiées

Les courbes obtenus suite aux essais Proctor modifié et CBR sont représentés sur les figures (5.17), (5.18) et le tableau (5.19) résume les résultats des essais de densification (w_{OPM} , γ_{dmax}) et portance (IPI_{OPM}) des formulations de mélange étudiés.

N°	Formulation de Mélange	W _{OPM} (%)	$\gamma_{dmax}(gr/cm^3)$	IPI _{OPM}
1	Sédiment brut site 01 (S1)	23	1,9	16,3
2	97% S01+ 3%CH	25	1,77	33,75
3	94% S01+ 6%C	20	1,92	36,15
4	91% S01+6%C+ 3%CH	24	1,82	38,25
5	50% S01+50%Sol2 (sable)	26	1,74	40,33

Tableau (5.19) : Influence d'ajouts des liants hydrauliques et matériau granulaire sur les valeurs de l'optimum Proctor modifié des formulations étudiées

Figure (5.17): Les courbes de compactage Proctor Modifié des différents mélanges

Figure (5.18): Les courbes IPI en fonction de la teneur en eau.

L'analyse des résultats d'essais de compactage –portance obtenus a permis de constater que :

- 1) La courbe Proctor modifié du sédiment (S1) présente une forme en cloche, ce qui signifie que ce sédiment est sensible à la valorisation de la teneur en eau.
- 2) Une diminution de la teneur en eau à l'OPM clairement observé par l'ajout du ciment.
- 3) Une légère diminution de la densité sèche maximale (variation de l'ordre de 4%) pour les trois formulations traitées avec les liants hydrauliques par rapport au traitement par l'ajout de matériau granulaire pulvérulent. ces valeurs de densité restent proches de 18 KN/m³, indiquant un niveau de compacité acceptable.
- 4) Un léger aplatissement des courbes (W, γ_d) au voisinage de l'opm est observé pour les matériaux traités avec des liants hydrauliques, ce qui constitue une diminution de la sensibilité à l'eau.
- 5) L'IP Immédiat optimale est faible pour le sédiment brut, ce qui n'assure pas la circulation des engins sur le chantier, par contre pour les autres mélanges leurs IP Immédiat permettent d'assure la circulation des engins sur chantier et vérifie les conditions pour une utilisation en couche de fondation. IPI > 35%



résistance à la compression

Confection des éprouvettes

liier ($D_{max} < 6,3 \text{ mm}$) et en suivant la norme matériaux traités aux liants hydrauliques, deux ées pour réaliser ces essais :

s liants au traitement (gonflement volumique i brésilien) R_{tb} , R_t avec des éprouvettes

a), qui sont confectionnées avec une teneur en e la masse volumique sèche Proctor ρ_{dOPM} et

ge statique suivant la norme (NF P 94-230-1)

nce à la compression avec des éprouvettes de

, qui sont fabriquées avec une teneur en eau la masse volumique sèche Proctor ρ_{dOPM} , compactage statique suivant la norme (NF P98-230-2)

Photo (5.9): Confection des éprouvettes d'essais mécaniques par compactage statique

V-4-5-2 Détermination du Gonflement volumique GV

Cet essai consiste à évaluer le gonflement volumique (Gv), comme décrit dans la norme [NF P94-100], Il s'effectue sur des éprouvettes d'élanement 1, dans notre cas, nous avons confectionné des éprouvettes de $\varnothing = 5 \text{ cm}$; $h = 5 \text{ cm}$. Elles sont compactées par la compression statique à W_{OPM} et $0,96 \times \rho_{dOPM}$ (photo (5.9)) et le démoulage de chaque éprouvette est réalisé immédiatement après confection.

Dans un premier temps, on conserve les éprouvettes pendant $3 \text{ jours} \pm 4 \text{ h}$ pour le traitement à la chaux seule et pour le traitement avec un liant hydraulique comme le ciment éventuellement associé à la chaux le temps de conservation est de $4 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$, ensuite on procède après l'enlèvement des étuis de conservation à entourer l'éprouvette d'échantillons par des bandes de confinement en textile synthétique souple et perméable maintenues par des élastiques afin d'éviter qu'elles ne se désagrègent pas lors de l'immersion. Les éprouvettes ainsi confectionnées sont immergées dans l'eau à 40°C pendant 7 jours (photo 5.10).

Photo (5.10): Immersion et conservation des éprouvettes à dispositif thermostatique de 40°C pour l'essai d'aptitude au traitement des mélanges étudiés

La valeur du gonflement volumique est la moyenne des valeurs mesurées sur trois éprouvettes, elle est mesurée par la variation des volumes de V_1 , V_2 , V_0 suivant la formule suivante:

V_0 : c'est le volume initial (immédiatement après démoulage) de l'éprouvette. Il est déterminé à partir des dimensions (hauteur et diamètre), à l'aide du pied à coulisse

d : le diamètre des éprouvettes soumises à l'essai (haut, milieu, bas), cm

h : Hauteur des éprouvettes soumises à l'essai, cm

Les volumes V1 et V2 sont déterminés par des pesées hydrostatiques des éprouvettes à l'air libre et dans l'eau de l'ensemble élastiques + bande de confinement. Les résultats obtenus sur le gonflement des éprouvettes en fonction du type du liant utilisé sont présentés sur le tableau (5.20).

Tableau (5.20): Résultats du gonflement volumique Gv des formulations étudiées

N° épreuve	Eprouvette	Type de mélange	AGE (jours)	V1 (cm ³)	V2 (cm ³)	V0 (cm ³)	Gv %	Gv Moy %
30	5 x 5	94%S1+6%C	7 j	124,2	5,5	116,12	2,22	3,38
31	5 x 5	94%S1+6%C	7 j	114,22	5,5	104,51	4,03	
38	5 x 5	94%S1+6%C	7 j	118,74	5,5	108,99	3,90	
42	5 x 5	91%S1+3%ch+6% c	7 j	114,7	5,5	107,03	2,03	1,66
44	5 x 5	91%S1+3%ch+6% c	7 j	112	5,5	104,88	1,54	
46	5 x 5	91%S1+3%ch+6% c	7 j	114,5	5,5	107,49	1,41	
34	5 x 5	97%S1+3% ch	7 j	114,89	5,5	105,73	3,46	2,74
37	5 x 5	97%S1+3% ch	7 j	113	5,5	104,73	2,65	

49	5 x 5	97%S1+3% ch	7 j	113	5,5	105,27	2,12	
----	-------	-------------	-----	-----	-----	--------	------	--

Les essais d'évaluation de l'aptitude de ces sols au traitement, effectués selon la norme NF P94-100, ont conduit aux résultats présentés sur la figure (5.19).

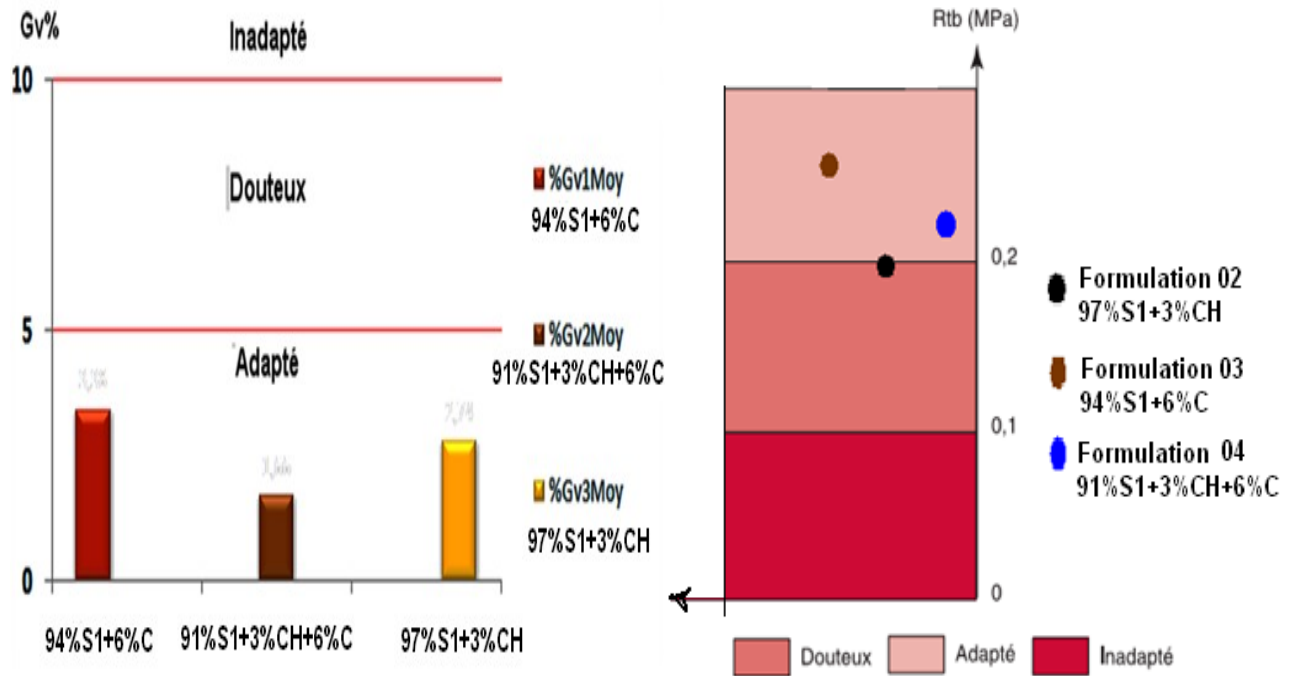


Figure (5.19): Aptitude au traitement du gonflement volumique Gv et Rtb en fonction du type de liant utilisé

Les formulations du sédiment brut de Bakhadda traitées aux liants hydrauliques satisfont bien aux critères d'aptitude (faible gonflement volumique Gv et bon développement des résistances Rtb) et peuvent être retenue pour la suite de l'étude.

V-4-5-3 Résistances à la traction (Rtb, Rt) et le module d'élasticité E

V-4-5-3-1 Résistance en compression diamétrale Rtb (immergée)

Les éprouvettes confectionnées sont immergées dans l'eau à 40°C pendant 7 jours photo (5.10). La méthode de préparation des éprouvettes a été décrite dans le paragraphe (V 4.7.2), cet essai consiste à compléter l'aptitude du matériau au traitement.

$$R_{tb} = 2 \times 10^{-2} \frac{F_r}{\pi \cdot \phi \cdot h}$$

La résistance à la traction Rtb (MPa), est obtenue par l'essai de compression diamétrale en appliquant une charge linéique sur 2 génératrices diamétralement opposées de l'éprouvette (photo 5.11), la résistance est déterminée à partir de la force appliquée par la presse au moment de la rupture de l'échantillon (Fr en Newton), grâce à la formule suivante :

Avec

Fr : la force appliquée à la génératrice de l'éprouvette en N,

Φ : le diamètre de l'éprouvette en centimètres

h : la hauteur de l'éprouvette en centimètres.



...i de compression diamétrale (l'essai brésilien)

ction R_t et le module d'élasticité E

L'objectif de cet essai est d'évaluer la performance mécanique des sédiments traités à 28 jours et 90 jours de maturation, il est nécessaire de mesurer Les résistances en traction et en compression, ainsi que le module d'élasticité. L'essai direct de la résistance à la traction est très complexe (estimée à partir de la résistance en traction brésilienne R_{tb}). La norme française [NF P 98-232.3] permet d'utiliser l'essai Brésilien qui est plus simple, de même procédure comme l'essai précédente. Les essais de tractions ont été menés sur des éprouvettes cylindriques d'élançement 1, d'un diamètre de 50 mm et de 50 mm de hauteur.

Dans notre étude, Le module d'élasticité est mesuré par un appareil de l'ultrason Photo (5.12) méthode ultrasonique selon la norme [NF P 18-418]. On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler.

Photo (5.12): Mesure du module d'élasticité E par l'ultrason

Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans l'éprouvette, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électronique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes Ultrasonores (T). La vitesse de propagation des ultrasons est donnée par la formule suivante :

$$V = L/T \text{ (m/s).}$$

$$E = V^2 \times \rho_d \times (1+\nu) \times (1-2\nu) / g \times (1-\nu)$$

E : module d'élasticité

ν : coefficient de Poisson, ($\nu=25$)

g : accélération de la pesanteur,

ρ_d : masse volumique sèche

L'analyse des résultats obtenus sur de ces essais d'aptitude au traitement résumés dans les tableaux (5.20) et (5.21) a montré que

Les résistances en compression diamétrale R_{tb} des mélanges proposés des éprouvettes immergées pendant 7 jours dans l'eau à 40°C sont conformes avec les résultats du gonflement volumique G_v , où les résultats des formulations proposées sont classés dans la case «adapté» (R_{tb} 0,2 MPa), Tableau (4.6).

Tableau (5.21): Résultats des Résistances en compression diamétrale R_{tb} (immersion) des formulations étudiées

Eprouvette	Type de Mélange	AGE (jour)	Fr R_{tb} (KN)	R_{tb} (MPa)	R_{tb} Moy (MPa)
5 x 5	94%S1+ 6%C	7 j	1,200	0,2727	0,23
5 x 5	94%S1 + 6%C	7 j	0,879	0,2115	
5 x 5	94%S1+ 6%C	7 j	0,820	0,2009	
5 x 5	97%S1+3%CH	7 j	0,793	0,2054	0,20
5 x 5	97%S1+3%CH	7 j	0,863	0,2180	
5 x 5	97%S1+3%CH	7 j	0,687	0,1699	
5 x 5	91%S1+6%C+3% CH	7 j	0,776	0,2006	0,22
5 x 5	91%S1+6%C+3% CH	7 j	0,962	0,2365	
5 x 5	100%S1	7 j	0,583	0,1416	0,14
5 x 5	100%S1	7 j	0,543	0,1369	
5 x 5	100%S1	7 j	0,515	0,1291	

Les résultats des essais (R_t , E) sur les formulations de mélanges étudiés à 28j et 90j sont rassemblés dans le tableau (5.22). L'analyse des résultats obtenus indique de faibles performances mécaniques pour la formulation utilisant 100% du sédiment brut de BAKHADDA à 28 jours, ce qui nous ramène à le classer en classe S_0 .

Tableau (5.22): Résultats des Résistances directes R_t et le module de déformation E des formulations étudiées

Epvtte	Type de Mélange	AGE (jour)	Fr (KN)	R_{tb} (MPa)	$R_t = 0,8R_{tb}$ (MPa)	Temps diamétral μs	Vdiamètre t (m/s)	E (MPa)
5 x 5	100% S1	90	1,90	0,4649	0,372	32,5	1558,13	2204,12
5 x 5	100% S1	28	1,10	0,2553	0,204	34	1519,66	2096,60
5 x 5	94% S1+6%C	90	3,72	0,9384	0,751	26	1935,50	3436,84
5 x 5	94% S1+6%C	28	3,05	0,7522	0,602	29	1758,01	2835,41

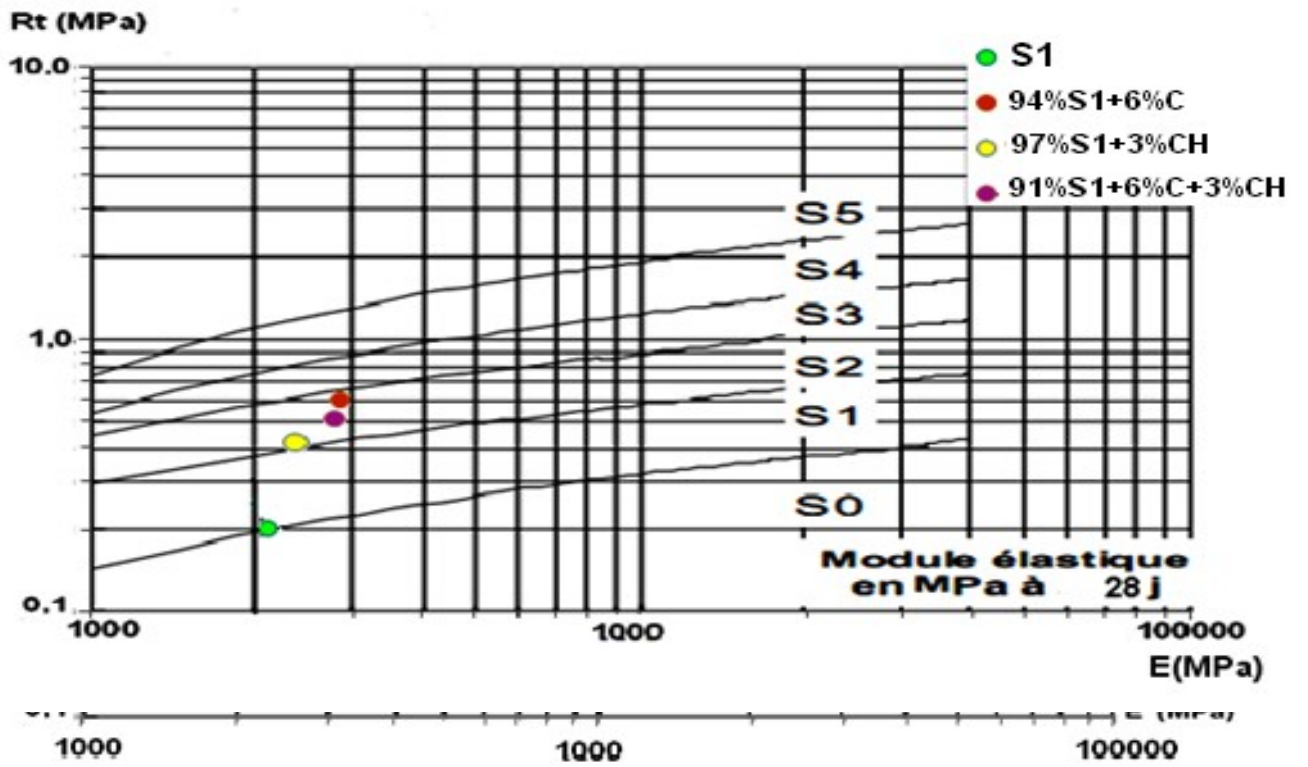


Figure (5.20) : Positionnement le sédiment brut et les 3 formulations étudiées à 28 et 90 jours dans l'abaque de classement du GTS

V-4-5-4 Résistance à la compression simple

Les essais de résistance à la compression simple (RC) sont effectués sur des éprouvettes cylindriques de 5 cm de diamètre et de 10 cm de longueur (d'élancement 2), confectionnées à et et compactées statiquement à l'aide d'une presse statique. La détermination de cette résistance a pour but d'étudier l'effet des liants utilisés sur les paramètres de résistance mécanique des sédiments traités. Ceci nous permettra de caractériser le comportement du sol traité à court et long terme qui permettra de savoir par la suite l'âge autorisant la circulation des engins sur la couche traitée et de vérifier la résistance de la couche à l'immersion au jeune âge ainsi que la résistance au gel.

Nous avons donc mesuré les résistances à la compression simple des éprouvettes concernant le sédiment brut sans traitement et les trois (03) formulations proposées après, 7, 14, 28, et 90 jours de maturation. Les éprouvettes sont placées entre les plateaux de la presse et subissent une force axiale croissante jusqu'à la rupture à l'aide d'un capteur qui permet d'afficher les résultats de la capacité maximale et le déplacement de course. Photo (5.13)

Le calcul de la résistance à la compression simple se fait par la formule suivante:

F_r : la valeur maximale de la force appliquée sur l'éprouvette au moment de la rupture
 S : la surface de la section de l'éprouvette, (cm²)

Les résultats des essais de résistance à la compression simple (Rc) effectués sur des éprouvettes cylindriques (5x10) cm, confectionnées à (W_{OPM} , 98,5% γ_{dOPM}) par un compactage statique (Photo 5.13) ont montrés que (Tableau (5.23)):

1. Le critère de résistance minimale (Rc = 1 MPa) fixé par le GTS pour autoriser la circulation sur la couche traitée est bien atteint avant 7 jours de durée de cure ;
2. À partir d'une durée de 28 jours, on constate une évolution importante de la résistance mécanique avec l'augmentation du pourcentage de liants ajoutés pour quelle se stabilise à une durée de cure de 90 jours. Cette forte augmentation de la résistance mécanique après 28 jours est justifiée par la réaction d'hydratation des liants pendant cette période. Cette action qui permet l'apparition d'espèces insolubles et résistantes qui agglomèrent les particules du sol permettant par la suite d'augmenter leurs performances mécaniques.

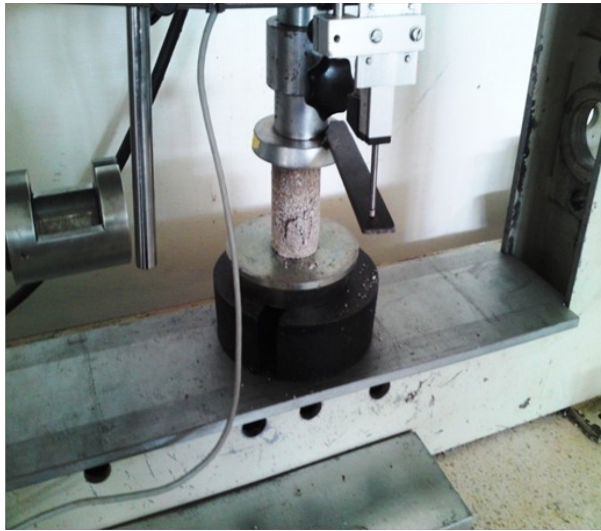


Photo. (5.13) : Mesure de la résistance à la compression simple des formulations étudiées par La presse avec un capteur

Les graphiques d'évolution de la résistance en compression R_c et du module élastique E sont donnés dans les figures (5.22) et (5.23), les courbes sont croissantes et asymptotiques.

Le comportement du sédiment traité est ainsi à évaluer vis-à-vis de l'âge autorisant la circulation sur la couche traitée (résistance à la compression R_c à 7 jours ou à 28 jours généralement ≥ 1 MPa), Tableau (5.23)

Eprouvts	Type de	RC(Mpa)	Module E (Mpa)
----------	---------	---------	----------------

(cm x cm)	formulati ons	AGE	AGE (JOUR)							
		(Jour)								
	étudiées	7 j	14 j	28j	90 j	7 j	14 j	28j	90 j	
(5 x 10)	Sédiment brut site 01		0,681	1,986	2,292	2,563	1881,1	1947,7	2362,9	2451
	97% S01+ 3%CH		1,687	2,516	2,644	3,190	1884,6	2354	2531,5	3046,2
	91% S01+6%C+ 3%CH		1,841	2,838	3,840	4,057	2084,9	2682,7	2784,4	3234,6
	94% S01+ 6%C		1,565	3,279	3,724	4,128	2844,2	2954,1	3513,2	3883,8

Tableau (5.23): Résistance à la compression simple et le module d'élasticité E des formulations étudiées

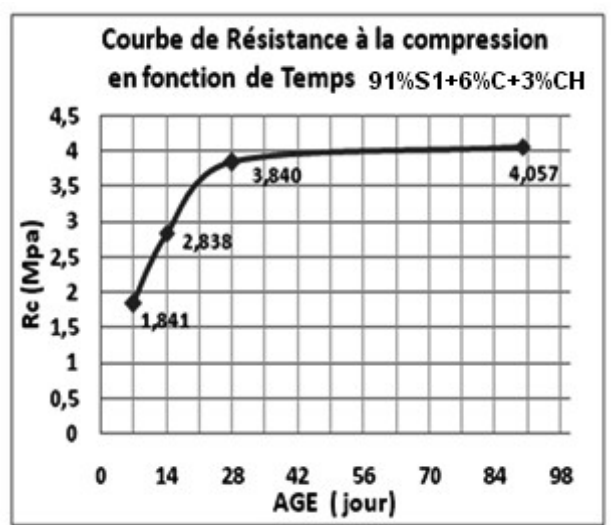
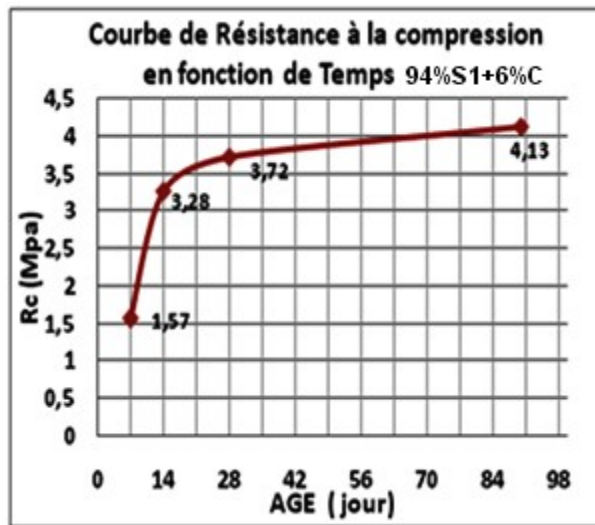
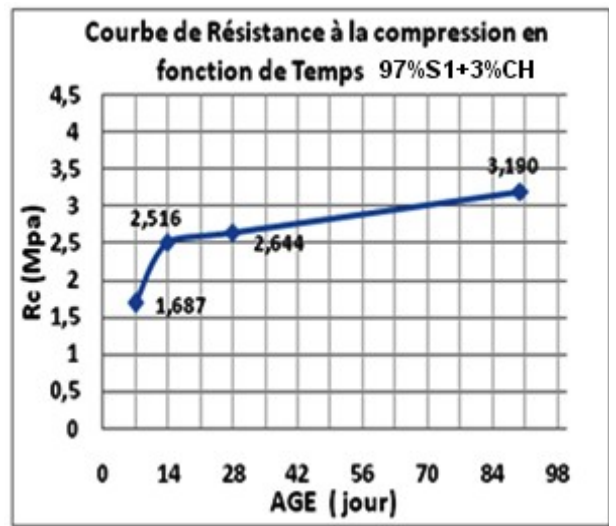
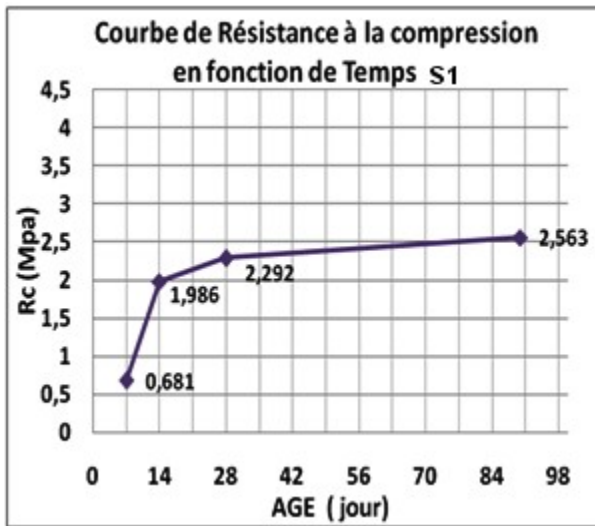


Figure (5.21): Influence d'introduction des liants hydrauliques sur la résistance à la compression simple des formulations de mélanges étudiés

Figure (5.22) : Evolution de la résistance RC en fonction du module élastique

Figure (5.23) : Evolution du module élastique E en fonction de temps de maturation.

Cette campagne d'essais a permis de souligner plusieurs caractéristiques importantes concernant le comportement des sédiments de dragage traités. Les résultats des différents essais mis en œuvre pour la valorisation de ces sédiments dragués en techniques routières ont été rassemblés dans le tableau (5.24) ci dessous.

Type de	Les paramètres des essais

Mélange	Granulométrie	Indice de plasticité IP	Test de Proctor (Wopm,γdma x)	Indice Portant Immédiat (IPI)	Compression simple RC (Mpa) Age 90j	Essai de compression diamétrale (Rt et E)
Sédiment brut (S1)	Mal graduée	Plastique >30	22,6/1,9	Inutilisable 16,3	2,56	(Rt=0,372 MPa) Classe S0
Formulation 02 97%Vb+ 3% Ch	Mal graduée	Peu plastique (Meilleur pour le corps de chaussée) 12	24,79/1,77	Couche de fondation 33,75	3,19	(Rt=0,62MPa) Classe S3
Formulation	Mal	Peu plastique	19,9/1,92	Couche de	4,13 (une	(Rt=0,75 MPa)

03 94%	graduée	16		fondation	très forte	Classe S3 Une
Vb+ 6%C				36,15	Résistance)	très bonne
						performance
						mécanique
Formulation	Mal	Peu plastique		Couche de	4,057 (Une	(R=0,74MPa)
04 91%	graduée	14	24,4/1,82	base 38,25	forte	Classe S3 Une
Vb+ 6%C +					Résistance)	bonne
3%CH						performance
						mécanique
Formulation	Etalée	Non plastique	26,5/1,74	Couche de	/	/
01 50%	bien	13	Une bonne	base 40,33		
Vb + 50% Sol	gradué		compacité			

2(sable)			(Courbe aplati)			
----------	--	--	------------------------	--	--	--

Tableau (5.24): Récapitulatifs des résultats des essais effectués sur les formulations étudiées

La méthode générale de valorisation des sédiments de dragage décrite dans cette étude est encourageante quand à la gestion de ces sédiment en technique routière. En effet, les trois liants testés permettent d'envisager l'utilisation du sédiment traité pour constituer une couche de chaussée : Aptitude au traitement vérifiée, excellente pérennité des traitements et gonflement non préjudiciable, bonnes résistances mécaniques et qui se situent au minimum en Zone 3 à 90 jours.

Cependant, leur comportement et leur niveau de performance diffèrent pour chacun d'entre eux :

➤ **Formulation 01 (50% S1 + 50% Sol 2(sable))**

Pour que les sédiments puissent supporter la charge engendrée par le trafic, il faut améliorer leurs performances mécaniques. Une des méthodes intéressantes est d'ajouter des correcteurs granulométriques pour constituer un mélange granulaire ayant une bonne distribution granulométrique.

La formulation retenue est un mélange constitué de 50 % de sédiment brut 01 (S1) et de 50% de sol 2 (sable). L'ajout d'un correcteur granulométrique sur le sédiment brut de barrage BAKHADDA permet d'améliorer la compacité du mélange mais, cette correction ne contribue pas à modifier significativement la performance mécanique du mélange granulaire. Ainsi l'utilisation des liants hydrauliques est donc indispensable.

➤ **Formulation 02 (97%S1+ 3%CH)**

Pour cette formulation, l'ajout de 3% de chaux sur le sédiment brut de Bakhadda a conduit à des performances mécaniques sensiblement égales à celles obtenues pour le sédiment brut sans traitement. En particulier, nous avons constaté que ses performances mécaniques maximales étaient atteintes rapidement entre 28 et 90 jours. En outre, elle se positionne à 90 jours en classe S3. Cependant, en termes d'essais d'identification, cette formulation a donné une bonne réduction de l'étendue plastique par une diminution notable de son indice de plasticité (IP = 12) ainsi que le pourcentage de retrait gonflement. L'incorporation de la chaux influée positivement sur la floculation des particules. Cette floculation se traduit géotechniquement par une élévation importante de la limite de plasticité du sol sans modification significative de sa limite de liquidité, il y a donc réduction de l'indice de plasticité, ce qui constitue un critère de l'utilisation en couche de fondation et cela est confirmé par les valeurs de l'indice Portant Immédiat (IPI= 34) et la résistance à la traction (Rt=0,62 MPa) Classe S3.

➤ **Formulation 03 (94% S1+ 6%C).**

Malgré les bonnes performances mécaniques trouvées pour cette formulation mais, dans la globalité des essais effectués cette composition ne représente pas la meilleure formulation ou elle répond négativement à l'essai de Proctor et les limites d'Atterberg. Cela peut être dû aussi aux recommandations des normes GTS qui déconseille l'utilisation du ciment seul pour l'amélioration des sols fins.

Le comportement du ciment avec le sédiment brut est très similaire à la combinaison de deux liants (ciment et chaux) mis à part qu'il a été possible de déterminer son critère de résistance à la traction ($R_t=0,75$ MPa) (Classe S3 à 90 jours). Néanmoins, cette valeur est élevée ce qu'indique une bonne performance mécanique.

➤ **Formulation 04 (91% S1 + 6%C+ 3%CH)**

Cette formulation répond positivement à l'essai compactage -portance (bonnes compacité et portance) qui permet de l'adopter comme couche de fondation, ainsi qu'une performance mécanique élevée qui se traduit par sa résistance à la compression ($R_c =4,057$ MPa) et la résistance à la traction ($R=0,74$ MPa) Classe S3.

V-5 Conclusion de chapitre

La méthodologie générale de valorisation décrite dans cette partie a pour but d'améliorer les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sédiment dragué du barrage BAKHADDA .La démarche de valorisation s'appuie sur des choix de formulations simples, peu coûteuses facilitant leurs mises en œuvre in situ.

Les différents essais d'identification réalisés sur les sédiments dragués ont montré que l'ajout d'un matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une réduction de la densité sèche (γ_{dopm}) et un accroissement de la teneur en eau optimale(W_{opm}). La teneur en matières organiques(MO) n'influe pas sur la compacité du matériau, par contre elle agit défavorablement sur sa portance(IPI).

L'ajout de liants hydrauliques a permis d'observer que la plasticité diminuait fortement, de même que le pourcentage de retrait gonflement et une diminution de la fraction granulométrique fine. Ainsi leurs influence agit en grande partie sur la portance du matériau qui se trouve nettement améliorée ($35 < IPI < 50$) pour une utilisation comme couche de fondation et de base.

Le classement des performances mécaniques des formulations étudiées utilisant les liants hydrauliques indique des classes minimales S3, critère recommandé pour une utilisation efficace en couche d'assise de chaussée.

Conclusion générale

Au terme de ce travail mené dans le but de mieux comprendre le phénomène d'envasement ainsi que l'étude et la valorisation des sédiments dragués du barrage Bakhadda, nous avons consacré deux principales parties, la première partie théorique qui permet de présenter le phénomène d'envasement et les moyens de lutte contre ce problème et la deuxième partie consiste à proposer une méthode permettant de réutiliser les sédiments obtenus par suite des opérations de dragage en domaine routier.

L'opération de dragage du barrage de Bakhadda a coûté plus de 80 milliards de centimes et qui a permis de dégager 5 millions de m³ de sédiments dragués.

Cette réalité a mis en évidence la complexité du problème, et le simple rejet dans le dépôt de décantation des matériaux récupérés est une solution simpliste qui doit être évitée pour préserver l'environnement, le recours à la valorisation de ces matériaux aura pour conséquence de ne plus les considérer comme déchets encombrants mais plutôt comme matière première.

L'objectif de ce travail est de proposer des formulations économiquement compétitives et faciles à mettre en œuvre in situ qui permettent une valorisation de ces matériaux en géotechnique routière.

A cet effet, nous avons mené une série d'analyses physiques, chimiques et mécaniques sur des échantillons de sédiments prélevés de la retenue du barrage de Bakhadda (Tiaret) au niveau des laboratoires d'LTPO_Tiaret et de Génie-Civil à l'université UAB_Tlemcen. Nous montrons dans cette étude l'influence d'ajout de matériau granulaire et de liants hydrauliques en tant que correcteur à la fois granulométrique et mécanique permettant d'améliorer ces paramètres d'état géotechniques, ces caractéristiques optimales de densification et de portance du matériau ainsi que leurs classes de résistances mécaniques.

Le traitement proposé pour la valorisation en technique routière conformément aux recommandations du guide technique GTR (LCPC-SETRA, 2000), est basé sur des formulations de mélanges à différents pourcentages du sédiment dragué, de matériaux granulaires et de liants conformément au guide technique GTS (LCPC-SETRA, 2000). L'objectif étant d'arriver à proposer un matériau traité économiquement compétitif et facile à mettre en œuvre in situ.

Le sédiment dragué du site 01(S1) du barrage Bakhadda se classe en rubrique de sols fins noté classe A3 (limons très plastiques), qui comporte une majorité de particules minérales inférieures à 63 μm et une teneur en matières organiques entre (3% à 10%) ainsi que la valeur de bleu méthylène (VBS= 5,91). Les résultats des coefficients d'uniformité ($C_u < 2$) et de courbure ($C_c < 1$) montrent une granulométrie serrée et mal graduée. Alors, une telle composition induit une faible résistance mécanique, une forte sensibilité à l'eau et une compressibilité élevée. À partir de ces analyses, l'utilisation de ce sédiment dans les structures routières demande un traitement préalable afin de répondre aux exigences demandées en termes de portance et de déformation.

En général, le traitement du sédiment dragué est obtenu par une méthode simple et peu coûteuse, deux approches peuvent être utilisées :

La première consiste à utiliser un correcteur granulaire pour avoir une distribution granulométrique assez étalée, Cette méthode permet d'atteindre les propriétés mécaniques souhaitables.

La deuxième consiste à traiter directement le sédiment brut par un mélange d'une certaine proportion de liant (ciment et chaux). L'utilisation de liants va permettre, pour les matériaux fins, généralement sensibles à l'eau, de créer des liens forts entre les

particules, afin d'augmenter les résistances et diminuer la porosité ouverte qui permet le passage de l'eau libre dans la structure.

Pour la valorisation en technique routière, un traitement à la chaux ou aux liants hydrauliques et l'utilisation de matériaux correcteurs de granulométrie comme les sables semble indispensables. Ces traitements ont l'intérêt de diminuer le taux global de matières organiques et d'étaler la distribution granulométrique. Ce qui peut améliorer la compacité et les performances mécaniques du matériau.

Dans le but de trouver une meilleure formulation pour l'utilisation des sédiments dragués du barrage Bakhadda en couche de chaussée, on a mélangé le sédiment dragué de site O1 (S1) avec des matériaux granulaires (chaux, ciment et sable) dans différentes proportions ce qui nous a donné quatre formulations :

La formulation (O1) : l'analyse de la courbe granulométriques de cette formulation montre que l'ajout d'un matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique, la valeur du coefficient d'uniformité (C_u) est largement supérieure à la valeur de 2 (Magnan, 1998) satisfaisant la granulométrie étalée du mélange ainsi qu'une réduction de la densité sèche (γ_{dopm}) et un accroissement de la teneur en eau optimale (W_{opm}). L'ajout d'un correcteur granulométrique sur le sédiment brut du barrage Bakhadda a permis d'améliorer la compacité du mélange mais, cette correction ne contribue pas à modifier significativement la performance mécanique du mélange granulaire.

La formulation (O2) est la meilleure formule qui permet d'améliorer la fraction argileuse par la diminution de l'indice de plasticité ($IP = 12$) et le pourcentage de retrait, gonflement. L'incorporation de la chaux a influé positivement sur la floculation des particules. Ce qui constitue un critère de l'utilisation en couche de fondation et cela est confirmé par les valeurs de l'indice Portant Immédiat ($IPI = 34$) et la résistance à la traction ($R_t = 0,62$ MPa). Il se positionne à 90 jours en classe S3.

Formulation (O3) : Malgré les bonnes performances mécaniques trouvées pour cette formulation mais, dans la globalité des essais effectués cette composition ne représente pas la meilleure formulation ou elle répond négativement à l'essai de Proctor et les limites d'atterberg. Cela peut être dû aussi aux recommandations des normes GTS qui déconseille l'utilisation du ciment seul pour l'amélioration des sols fins.

Le comportement du ciment avec le sédiment brut est très similaire à la combinaison de deux liants (ciment et chaux) mis à part qu'il a été possible de déterminer son critère de résistance à la traction ($R_t = 0,75$ MPa) (Classe S3 à 90 jours). Néanmoins, cette valeur est élevée ce qu'indique une bonne performance mécanique.

Formulation (O4) : L'étude de cette formulation montre une très bonne performance mécanique qui se traduit par sa résistance à la compression ($R_c = 4,057$ MPa) et la résistance à la traction ($R = 0,74$ MPa) ainsi qu'une bonne compacité et portance ($IPI = 38$) qui permet de l'adopter comme couche de fondation.

En conclusion, on peut admettre que les différents essais géotechniques réalisés sur les sédiments dragués ont montré que l'ajout d'un matériau granulaire a amélioré la distribution granulométrique ainsi qu'une réduction de la densité sèche (γ_{dopm}) et un accroissement de la teneur en eau optimale (W_{opm}). La teneur en matières organiques (MO) n'influe pas sur la compacité du matériau, par contre elle agit défavorablement sur sa portance (IPI).

L'ajout de liants hydrauliques a permis d'observer que la plasticité diminuait fortement, de même que le pourcentage de retrait gonflement et une diminution de la fraction granulométrique fine. Ainsi leurs influence agit en grande partie sur la portance

du matériau qui se trouve nettement améliorée ($35 < \text{IPI} < 50$) pour une utilisation comme couche de fondation et de base.

Le classement des performances mécaniques des formulations étudiées utilisant les liants hydrauliques indique des classes minimales S3, critère recommandé pour une utilisation efficace en couche d'assise de chaussée.

En perspective : La poursuite de notre travail est d'étudier des formulations issues de sédiments de dragage sur les critères mécaniques et environnementaux. La continuité dans cet axe de recherche constitue des horizons nécessitant plus de moyens (un banc qui permet d'avoir plus de mesures et les outils de mesure adéquats), ainsi que l'outil numérique qui peut fournir des résultats appréciables. Un dimensionnement de l'ensemble « couche de forme-structure de chaussée », utilisant une méthode de calcul (modèle « Alizé », par exemple) peut être envisagé. Les caractéristiques mécaniques E, et R, peuvent être introduits dans le modèle de calcul, afin de retenir celles conduisant à une optimisation technique et économique de la chaussée.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

- 📖 [Abdellatif B-A, Frédéric Baillot, K Menoueri et al 2006] document de «la faim de l'eau» la boue dans les Barrages, Le magazine des journalistes scientifiques. Université Saad Dahleb de Blida
- 📖 [Afechkar M., Nahhass M.] CNER Au Maroc, Valorisation Des Cendres Volantes Dans Le Domaine Routier (Terrassements et couches de chaussées).
- 📖 [AGOSTINI Franck .,2006] Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins .Thèse de doctorat de l'université de Lille. Discipline : Génie Civil.
- 📖 [ARMENTI (Yannick), BRUANT (Etienne) 2008] Etude bibliographique « Etude de marché des produits de traitement pulvérulents pour l'amélioration des sols » Ecole des mines de Douai.
- 📖 [Ben Mammou Abdallah et M. H. Louati 2006] Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 20, n° 2, 2007.
- 📖 [BOUTOUIL M, LEVACHER D 2000] Traitement et valorisation des vases de dragages par solidification/stabilisation: état de l'art article
- 📖 [BRAKNI S, ABRIAK N, Grégoire P, Zentar R 2007] Valorisation de boues de dragage maritime en granulats artificiels en vue de stabiliser l'érosion littorale Ecole des Mines de Douai – Département Génie Civil et Environnemental.
- 📖 Chapitre 1/Formation des sols Cours Cnam Géotechnique GGC 112 C. Plumelle.
- 📖 [CHANSON H., PATRICK JAMES1998] Teaching Case Studies in Reservoir Siltation and Catchment Erosion. “Doc: imprimé en Grande-Bretagne. 1998 Tempus publication the University of Queensland, Brisbane, Australia.”
- 📖 [Comité de concertation Navigation Québec 2004] document d'orientation sur la gestion intégrée du dragage sur le Saint-Laurent, document de soutien à la stratégie de navigation durable du comité de concertation navigation Mars 2004 Québec.
- 📖 [Cooper,H.R 1974] Practical Dredging And Allied Subjects .Glasgow: Brown, Son And Ferguson, 1974 P 434.
- 📖 [Delphine Hardy, Michel Assié 2002] Rapport : Historique national des opérations de curage et perspectives. « études sur l'eau en France ministère de l'écologie et du développement durable, Agence de l'eau Artois-Picardie».
- 📖 [DESTOMBES M. A. 2003] Guide Technique Pour L'utilisation Des Matériaux Régionaux D'île-De-France Catalogue des structures de chaussées décembre Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien
- 📖 [Document de la Méthode de gestion et de réutilisation des sédiments pollués 2002] : l'inventaire détaille des méthodes de curage, de traitement et des usages possibles des sédiments pollués : Ces études européen life par des organismes publics français, néerlandais et belges. Disponible sur: <http://www.eau-artoispicardie.fr/> .
- 📖 [DUBOIS Vincent., 2006] Etude du comportement physico-mécanique et caractérisation environnementale des sédiments marins –valorisation en technique routière. Thèse de doctorat de l'université d'Artois. Discipline : génie civil.
- 📖 [FOUCHER Jérôme., 2005] valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France métropolitaine.
- 📖 [François J, Guidoux Yves 1998] « réseau routier national catalogue des structures types de chaussées neuves hypothèses et données de calcul ». Document des groupes SETRA et du LCPC

- 📖 [hydrodragage-c.t.systems 2005] rapport technique barrage BAKHADA Wilaya De Tiaret Levés Bathymétriques Des Barrages En Exploitation Lots II Et III Echelon Cheliff Et Centre Février 2005.
- 📖 [JAVAD Behmanesh 2008] étude de la durabilité d'un sédiment, traite au ciment et additifs Thèse de doctorat de l'université de Caen. Spécialité : Génie Civil
- 📖 [GE.O.R.E, 2001] Gestion optimale des ressources en Eau. Projet GE.O.R.E, Coopération Allemande au Développement, Coopération Technique Tunis-Allemande.
- 📖 [GUEMOU Bouabdellah 2009] étude de l'affouillement autour des piles de pont. Thèse Magister en Hydraulique à Université de Tlemcen.
- 📖 Guide technique régional relatif à la méthodologie de gestion des sédiments de dragage portuaire 2006: Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP : Démarche PREDIS Nord Pas de Calais.
- 📖 Guide technique: valorisation des matériaux locaux [Sétra /CFTR 2004].
- 📖 Guide technique Réalisation des remblais et des couches de forme [GTR Fascicule I 2000 LCPC/Sétra].
- 📖 Guide technique de Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques Application à la réalisation des remblais et des couches de forme [GTS 2000 LCPC/Sétra].
- 📖 [KASSOUL M., Abdelgader A, belorgey M 1997] caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie revue des sciences de l'eau
- 📖 [KERGOËT Michel 2001] Exemple d'étude de traitement pour déterminer l'emploi d'un sol en couche de forme bulletin L P C Est parisien
- 📖 [Laura de F, F Ibanez, G Benoit, Sophia A 2003] rapport : « Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens Etude bibliographique »
- 📖 Lime-Treated soil construction manual "lime stabilization & lime modification" Bulletin This publication was originally written by the American Road Builders Association Published by 2004
- 📖 [LIVRE D'ANB 1951] monographie des grands barrages barrage de BAKHADDA (S.C.E.Tcoop).
- 📖 [Mahi Tabet -Aoul 2000] les changements d'utilisation et de couvert des sols et les ressources en eau : Association pour la Recherche sur le Climat et l'Environnement (ARCE), BP 4250, Ibn Rochd, 31037, Oran (Algérie).
- 📖 [MECHAYMECH Ahmad 2002] valorisation des boues de dragage - application : port autonome de dunkerque –MEMOIRE : Diplôme d'Etudes Approfondies (D.E.A.) L'Université d'Artois, Spécialité : GENIE CIVIL.
- 📖 [NETO manuelle 2007] scenarios de gestion de boues de dragage de cours d'eau : rôle des bactéries dans la mobilité des polluants métalliques. Thèse doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon.
- 📖 [OUMRANI .N 2009] Influence des sédiments sur la stabilité d'un barrage en exploitation cas du barrage CHEURFAS II : mémoire de magister 2008-2009.
- 📖 [Panel Stevan Bruk 1986] document : « méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI - II Project Janvier 1986 »,
- 📖 [Patrice Deslauriers et Johan Couveignes 2001] Le cycle de formation des roches : École Édouard-Montpetit, Montréal, juin 2001 Science animée,
- 📖 [PETAVY François., 2007] Traitement et valorisation des sédiments de l'assainissement pluvial. Thèse de doctorat de l'université de Nantes. Spécialité : génie civil

- 📖 [PROBST J. L., AMIOTTE P. 1992] Hydrological Sciences -Journal- 1992
« Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa) Strasbourg Cedex, France.
- 📖 [PROULHAC.N, KER LANN, 2006] Rapport Final du Schéma Directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de La Gironde .Bassin d'Arcachon
- 📖 [REMINI B. AVENARD J. M. KETTAB A 1997] Livre de l'envasement des barrages pages 5 à 89
- 📖 [REMINI.B et Hallouche W 2007] l'Algérie plus d'un siècle de desenvasement des barrages (Partie II) Les eaux douces et de surface Chapitre 8.
- 📖 [Roland Boutin 2000] livre de dragage et rejets en mer les produits de types vase.
- 📖 [SANCHEZ Angulo, M, 2000] Dynamique des sédiments fins en milieu marin et agitation portuaire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches par Martin de l'université de Caen_ BASSE NORMANDIE
- 📖 [SCORDIA Pierre-Yves., 2008]Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollues et traites dans les Matériaux routiers. Thèse de doctorat de l'école centrale de Lille. Spécialité : génie civil
- 📖 [SEMCHA Abdelaziz., 2006] Valorisation des sédiments de dragage : applications dans le BTP, cas du barrage de FERGOUG .Thèse de doctorat de l'université de Reims Champagne-Ardenne. Discipline : génie civil
- 📖 [SIDI ADDA MUSTAPHA 2005] Modélisation de l'envasement des retenues de barrages, Mémoire de magister a USTO ORAN.
- 📖 [THIEBOT Jérôme., 2008] modélisation numérique des processus gouvernant la formation et la dégradation des massifs vaseux. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (ENGREF) PARIS Spécialité : Transport sédimentaire
- 📖 [TRAN Ngoc Thanh., 2009] Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière, Thèse de doctorat de l'université d'Artois. Spécialité : Génie Civil
- 📖 [Xavier L, Augustin J-M] document de Principes et performances des méthodes de mesure bathymétrique en sonar « Service Acoustique et Sismique » Données propriété de Marc Roche, SPF Economie, Fonds d'Extraction de Sable, Bruxelles, Belgique.
- 📖 [Philippe joye 2005] cours de géologie appliquée au génie civil chapitre 02 : notions de pétrographie.
- 📖 [Terfous Abdelali et all 2003] détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins versants des régions méditerranéennes algériennes. documents 2003.